KARYA TULIS ILMIAH

MAHASISWA BERPRESTASI NASIONAL

PROGRAM DIPLOMA

HONEYSS (*HONEYCOMB STRUCTURAL SYSTEM*) DESAIN STRUKTUR HEXAGRID TERMODIFIKASI SEBAGAI INOVASI EFEKTIFITAS STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG UNTUK MEWUJUDKAN KONSTRUKSI MASA DEPAN

Muhammad Syaifuddin Zuhri 3114041088

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2017

KARYA TULIS ILMIAH

MAHASISWA BERPRESTASI NASIONAL

PROGRAM DIPLOMA

HONEYSS (*HONEYCOMB STRUCTURAL SYSTEM*) DESAIN STRUKTUR HEXAGRID TERMODIFIKASI SEBAGAI INOVASI EFEKTIFITAS STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG UNTUK MEWUJUDKAN KONSTRUKSI MASA DEPAN

Muhammad Syaifuddin Zuhri 3114041088

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2017

LEMBAR PENGESAHAN KARYA TULIS ILMIAH

PEMILIHAN MAHASISWA BERPRESTASI

PROGRAM DIPLOMA

1. Judul : HONEYSS (*Honeycomb Structural System*) Desain Struktur Hexagrid Termodifikasi sebagai Inovasi Efektifitas Struktur Bangunan Gedung untuk Mewujudkan Konstruksi Masa Depan
2. Penulis
   - a. Nama : Muhammad Syaifuddin Zuhri
   - b. NIM : 3114041063
   - c. Jurusan : Teknik Infrastruktur Sipil
   - d. Universitas/Institut : Institut Teknologi Sepuluh Nopember
   - e. Alamat Rumah : Desa Babat Agung, Kecamatan Deket, Lamongan
   - f. Alamat Email : syaifuddinzuhri09@gmail.com
3. Dosen Pembimbing
   - a. Nama : Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D.
   - b. NIDN : 0028036209
   - c. Alamat Rumah/Telp : Jl. Teknik Komputer II Blok U-200 Sukolilo, Surabaya/082139300101

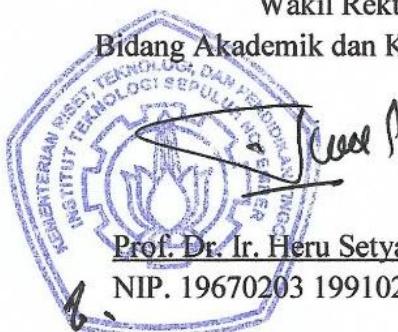
Surabaya, 25 April 2017

Menyetujui,
Dosen Pembimbing

Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D.
NIDN. 0028036209

Penulis

Muhammad Syaifuddin Zuhri
NIM. 3114041088

Mengetahui,
Wakil Rektor
Bidang Akademik dan Kemahasiswaan

Prof. Dr. Ir. Heru Setyawan, M.Eng.
NIP. 19670203 199102 1 001

SURAT PERNYATAAN

Saya bertanda tangan di bawah ini:

Nama	: Muhammad Syaifuddin Zuhri
Tempat/Tanggal Lahir	: Lamongan, 11 Mei 1996
Program Studi	: D4 Teknik Infrastruktur Sipil
Fakultas	: Fakultas Vokasi
Perguruan Tinggi	: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Judul Karya Tulis	: HONEYSS (*Honeycomb Structural System*) Desain Struktur Hexagrid Termodifikasi sebagai Inovasi Efektifitas Struktur Bangunan Gedung untuk Mewujudkan Konstruksi Masa Depan

Dengan ini menyatakan bahwa Karya Tulis yang saya sampaikan pada kegiatan Pilmapres ini adalah benar karya saya sendiri tanpa tindakan plagiarisme dan belum pernah diikutsertakan dalam lomba karya tulis.

Apabila di kemudian hari ternyata pernyataan saya tersebut tidak benar, saya bersedia menerima sanksi dalam bentuk pembatalan predikat Mahasiswa Berprestasi.

Surabaya, 25 April 2017

Mengetahui,
Dosen Pendamping

Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D.
NIDN. 0028036209

Yang menyatakan

METERAI TEMPEL
2F386AEF087991994
6000
ENAM RIBU RUPIAH

Muhammad Syaifuddin Zuhri
NIM. 3114041088

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan karunia dan petunjuknya sehingga penulis dapat menyelesaikan karya tulis dengan baik. Penyusunan karya tulis tidak akan terwujud tanpa adanya bantuan dari pihak lain. Maka dalam kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih sedalam-dalamnya kepada semua pihak yang telah turut membantu selama penyelesaian karya tulis ini. Kami ucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Heru Setyawan, M.Eng. selaku Wakil Rektor Bidang Akademik dan Kemahasiswaan ITS
2. Bapak Dr. Machsus, ST., MT. selaku Kepala Departemen Teknik Infrastruktur Sipil Fakultas Vokasi ITS
3. Bapak Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing karya tulis ilmiah
4. Ibu Siti Kamilia Aziz, S.T., M.T. selaku dosen wali dari penulis
5. Dosen-dosen penalaran ITS yang telah memberikan dukungan dan motivasi untuk terus mengembangkan karya
6. Dosen-dosen Departemen Teknik Infrastruktur Sipil Fakultas Vokasi ITS yang telah memberikan ilmunya kepada penulis
7. Semua pihak turut membantu kelancaran dalam penyusunan karya tulis ilmiah

Penulis menyadari bahwa karya tulis masih jauh dari kesempurnaan. maka segala saran dan kritik yang membangun, sangat diharapkan untuk lebih mendapatkan hasil yang mendekati sempurna. Semoga karya tulis ini bermanfaat bagi semua pihak, khususnya bagi pembaca.

Surabaya, 25 April 2017

Penulis

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR TABEL

DAFTAR LAMPIRAN

RINGKASAN

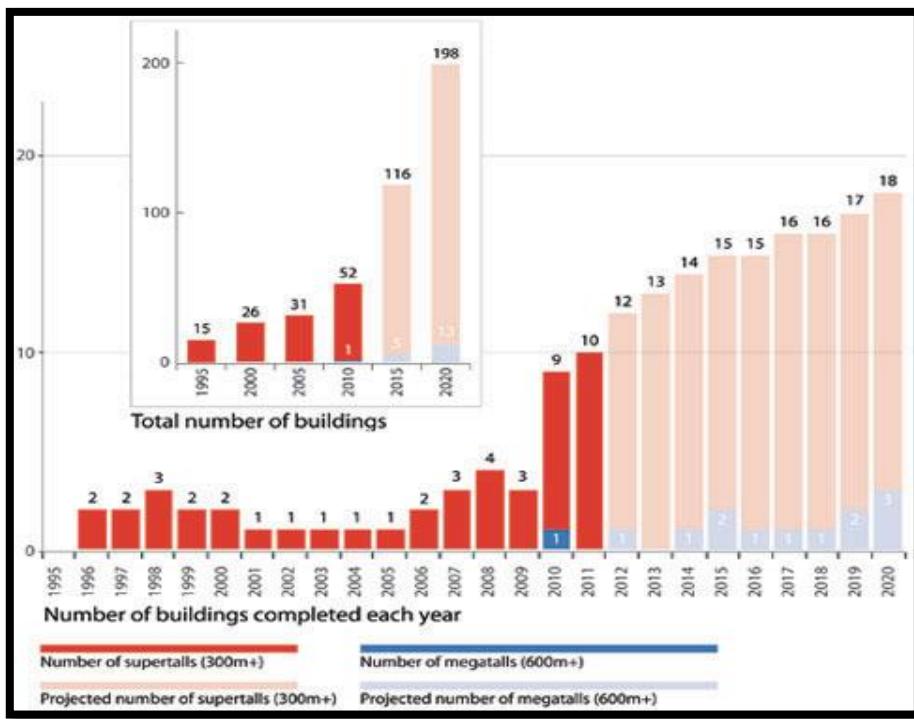
Seiring dengan berkembang pesatnya pertumbuhan jumlah penduduk, pembangunan vertikal menjadi solusi yang efektif untuk meminimalisir penggunaan lahan yang terbatas. Pada bulan Mei 2016 (*www.bmkg.go.id*), terjadi gempa bumi sebanyak 15 kali yang tersebar di seluruh Indonesia, hal ini dikarenakan Indonesia menempati zona tektonik yang sangat aktif. Kondisi inilah yang menuntut agar konstruksi bangunan yang dibangun harus memenuhi kaidah bangunan tahan gempa dan harus memperhatikan beberapa kriteria kekuatan, kenyamanan, serta aspek ekonomisnya.

Saat ini telah ada beberapa macam sistem struktur bangunan, diantaranya adalah struktur rangka (*Skeleton*) dan struktur hexagrid yang tergolong struktur baru. Namun kedua struktur tersebut masih memiliki kelemahan diantaranya berat bangunan yang tergolong berat sehingga mengakibatkan lebih besar menerima gaya gempa. Pada struktur rangka kurang kuat menerima gaya aksial dan gaya momen dikarenakan distribusi beban hanya terfokus pada kolom. Sementara untuk struktur hexagrid memiliki kelemahan yang sangat kurang pada beban lateral yang mempengaruhi pada kekakuan suatu bangunan, akibatnya bangunan tidak kaku sehingga rawan roboh jika terkena beban gempa.

Pada karya tulis ini akan dibahas tentang desain *Honeycomb Structural System* (HONEYSS) / struktur hexagrid termodifikasi sebagai inovasi efektifitas struktur bangunan gedung untuk mewujudkan konstruksi masa depan. Metode yang dilakukan adalah perancangan desain dan struktur dengan pembebanan. Rencana desain HONEYSS dilakukan dengan membandingkan analisa struktur dengan desain struktur hexagrid dan struktur rangka menggunakan program komputer SAP 2000 v14. Program komputer digunakan karena kompleksitas struktur dan pembebanan, sehingga perhitungan secara manual akan membutuhkan waktu yang sangat lama. Desain rancangan dari HONEYSS memiliki dimensi tinggi bangunan 42 m, panjang dan lebar bangunan 35 m. Dari hasil pebandingan analisa struktur menunjukkan bahwa perpindahan maksimum pada HONEYSS sebesar 10,96 mm, atau lebih kaku 17,28% dibanding struktur hexagrid dan lebih kaku 78,30% dibanding struktur rangka. Sedangkan dari segi berat struktur, HONEYSS memiliki berat struktur sebesar 5792,795 ton, atau lebih ringan sebesar 1,97% dibanding struktur hexagrid dan lebih ringan 5,3% dibanding struktur rangka. Biaya struktur HONEYSS senilai Rp 4.368.175.125 atau lebih ekonomis sebesar 10,465% dibanding struktur hexagrid dan lebih ekonomis sebesar 46,211% dibanding struktur rangka. Metode konstruksi HONEYSS mudah dan cepat dilaksanakan di lapangan, karena menggunakan material baja prefabrikasi. Dapat disimpulkan bahwa HONEYSS memiliki efisiensi bahan yang lebih baik sehingga bangunan gedung lebih ringan namun lebih kuat dibanding struktur bangunan lainnya dan juga memiliki nilai arsitektural. Hal ini membuktikan bahwa HONEYSS dapat menjadi struktur yang efisien dan menjadi solusi terbaik untuk konstruksi rumah susun masa depan di Indonesia.

BAB I PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Di era modern ini, maraknya pembangunan gedung-gedung di dunia bertambah pesat. Hal ini seiring dengan berkembang pesatnya pertumbuhan jumlah penduduk, permintaan akan hunian tempat tinggal dan perkantoran terbilang mengalami kenaikan yang sangat tinggi, padahal semakin lama kesediaan lahan akan semakin sedikit. Untuk itu, pembangunan gedung vertikal menjadi solusi yang efektif untuk meminimalisir penggunaan lahan yang terbatas. (Yatrizal, 2011). Pada Gambar 1 membuktikan bahwa sampai saat ini setiap tahunnya terdapat belasan proyek gedung tinggi yang masih dikerjakan, dan diperkirakan pada tahun 2020 total 198 bangunan tinggi telah terbangun.

Gambar 1. *Supertall And Megatall Building Completion Showing A Significant Projected Increase*

Sumber : Council on Tall Buildings and Urban. Habitat, 2011

Indonesia sendiri menempati zona tektonik yang sangat aktif karena tiga lempeng besar dunia dan sembilan lempeng kecil lainnya saling bertemu di wilayah

Indonesia dan membentuk jalur-jalur pertemuan lempeng yang kompleks (Bird, 2003). Keberadaan interaksi antar lempeng-lempeng ini menempatkan wilayah Indonesia sebagai wilayah yang sangat rawan terhadap gempa bumi (Milson et al., 1992). Selain itu, Indonesia juga merupakan bagian dari jalur *The Ring of Fire*. Pada bulan Mei 2016, terjadi gempa bumi yang tersebar di seluruh Indonesia sebanyak 15 kali (*www.bmkg.go.id*). Menurut Badan Penanggulangan Bencana Aceh (BPBA), gempa berkekuatan 6,4 skala richter, di Aceh Rabu (7/12/2016) mengakibatkan 10 unit rumah toko roboh dan empat unit rumah mengalami kerusakan parah. Kondisi inilah yang menuntut agar konstruksi bangunan yang dibangun harus memenuhi kaidah bangunan tahan gempa agar bangunan tidak mengalami keruntuhan ketika terjadi gempa.

Di sisi lain rumah susun merupakan solusi alternatif untuk penataan pemukiman di wilayah perkotaan di Indonesia yang lahannya semakin terbatas akibat kepadatan penduduk. Namun, dalam pelaksanaanya banyak rumah susun di Indonesia yang tidak memperhatikan beberapa kriteria dalam sebuah perencanaan gedung tinggi diantaranya aspek kekuatan, kenyamanan, serta ekonomisnya. Hasilnya tidak sedikit rumah susun di Indonesia yang kurang kokoh dan tidak tahan terhadap gempa, hal tersebut mengakibatkan bangunan mudah mengalami kerusakan. Kerusakan tersebut salah satunya diakibatkan oleh material konstruksi dan sistem struktur bangunan yang kurang efektif dan efisien. Sehingga tidak dapat memikul beban vertikal dan horizontal, tidak dapat menahan external dan internal blast juga impact loads. (Khan, 1981).

Saat ini telah ada beberapa macam sistem struktur bangunan, diantaranya adalah sistem rangka (*Skeleton*). Engel (1981) merancang struktur rangka yang terdiri atas komposisi dari kolom-balok. Kolom sebagai unsur vertikal berfungsi sebagai penyalur beban dan gaya menuju tanah, sedangkan balok adalah unsur horisontal yang berfungsi sebagai pemegang dan media pembagian beban dan gaya ke kolom. Namun sistem struktur ini memiliki beberapa kekurangan, diantaranya adalah berat bangunan yang tergolong berat sehingga mengakibatkan lebih besar menerima gaya gempa, karena beban gempa berbanding lurus dengan berat struktur bangunan. Pada struktur rangka kurang kuat menerima gaya aksial dan gaya

momen, dikarenakan distribusi beban hanya terfokus pada kolom, *displacement* pada struktur rangka juga tergolong besar, ini mengakibatkan bangunan tidak kaku sehingga rawan roboh jika terkena beban gempa. Dari segi aspek ekonomi, struktur rangka tergolong mahal.

Sementara untuk sistem struktur yang baru ditemukan adalah struktur hexagrid. Peyman Askari Nejad (2016) mendesain dan merancang sebuah sistem struktur berbentuk hexagonal yang merupakan evolusi dari sistem struktur *braced-tube*. Peranan menahan momen dan menjaga kekakuan bangunan berada pada konfigurasi elemen struktur pada tepi bangunan. Dari segi pengunaan material struktur hexagrid lebih hemat dibanding sistem struktur rangka. Namun struktur ini lemah dalam menerima gaya momen, sehingga menyebabkan struktur ini masih kurang kaku. Berat struktur bangunan hexagrid dinilai masih cukup berat, dan segi aspek ekonomi, struktur hexagrid tergolong mahal mengingat bangunan dengan struktur hexagrid masih belum sepenuhnya kaku.

Berdasarkan permasalahan diatas, maka penulis menggagas sebuah ide berjudul "HONEYSS (*Honeycomb Structural System*) Desain Struktur Hexagrid Termodifikasi Sebagai Inovasi Efektifitas Struktur Bangunan Gedung untuk Mewujudkan Konstruksi Masa Depan". Inovasi ini terbukti mampu memikul beban vertikal dan horizontal, serta dapat menahan *external* dan *internal blast* juga *impact loads*. HONEYSS (Hexagrid Termodifikasi) memiliki kekakuan sebesar 17,28% lebih kaku dibanding sistem hexagrid dan 78,3% lebih kaku dibanding struktur rangka. HONEYSS juga memiliki ketahanan terhadap momen guling serta deformasi geser yang lebih efektif. Dari segi berat struktur, HONEYSS memiliki berat lebih ringan sebesar 1,96% dibanding struktur hexagrid dan 5,39% lebih ringan dibanding struktur rangka. Struktur ini memiliki kriteria yang matang dari unsur kekuatan, kenyamanan, dan aspek ekonomis serta memenuhi kaidah bangunan tahan gempa, sehingga sistem struktur bangunan ini cocok digunakan di Negara Indonesia yang memiliki tingkat kerawanan gempa yang tinggi. Diharapkan HONEYSS (*Honeycomb Structural System*) / struktur hexagrid termodifikasi dapat menjadi solusi terbaik untuk konstruksi rumah susun masa depan di Indonesia.

I.2 Rumusan Masalah

Adapun permasalahan yang akan dibahas pada karya tulis ilmiah ini adalah:

1. Bagaimana filosofi konsep dari sistem struktur hexagrid termodifikasi / HONEYSS (*Honeycomb Structural System*)?
2. Bagaimana desain rancangan HONEYSS (Struktur Hexagrid Termodifikasi)?
3. Bagaimana hasil perbandingan reaksi struktur dan analisa perhitungan struktural pada HONEYSS (Struktur Hexagrid Termodifikasi) dengan struktur hexagrid serta struktur rangka?
4. Bagaimana perbandingan biaya pada HONEYSS (Struktur Hexagrid Termodifikasi) dengan struktur hexagrid serta struktur rangka?

I.3 Tujuan Penulisan

Pada karya tulis ilmiah ini dirumuskan tujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui filosofi konsep dari sistem struktur hexagrid termodifikasi / HONEYSS (*Honeycomb Structural System*).
2. Membuat desain rancangan HONEYSS (Struktur Hexagrid Termodifikasi).
3. Mendapatkan hasil perbandingan reaksi struktur dan analisa perhitungan struktural pada HONEYSS (Struktur Hexagrid Termodifikasi) dengan struktur hexagrid serta struktur rangka.
4. Menjelaskan perbandingan biaya pada HONEYSS (Struktur Hexagrid Termodifikasi) dengan struktur hexagrid serta struktur rangka.

I.4 Manfaat Penulisan

Penulisan karya tulis ini mempunyai beberapa manfaat, antara lain:

1. Membantu menemukan sebuah sistem struktur bangunan untuk konstruksi rumah susun masa depan di Indonesia.
2. Sebagai pengembangan bidang ilmu teknik sipil untuk meminimalisir kerusakan bangunan terhadap bencana alam (gempa, angin)
3. Memberikan sebuah sistem struktur bangunan baru yang efisien, kuat, ringan, dan arsitektural.
4. Cocok diterapkan di Negara Indonesia yang mempunyai tingkat kerawanan gempa bumi tinggi.

BAB II TELAAH PUSTAKA

II.1 Sistem Struktur Bangunan Gedung

1. Sistem Struktur Gedung menurut SNI-1726-2012

Sistem Dinding Penumpu, Sistem Rangka Gedung, Sistem Rangka Pemikul Momen Sistem, dan Sistem Ganda

2. Sistem Struktur Pengaku Lateral

Sistem struktur penahan lateral menentukan kekakuan bangunan terhadap beban lateral (gempa dan angin). Berikut ini adalah macam-macam struktur pengaku lateral menurut Priguna, 2011 :

a. Struktur *Rigid-Frame* (Struktur Portal Kaku)

   Struktur portal kaku terdiri dari kolom dan balok yang digabungkan dengan sambungan tahan momen

b. Struktur Portal Bresing (*Braced Frame*)

   Bresing adalah suatu sistem kantilever truss vertikal yang memikul beban lateral melalui kekakuan aksial portal.

c. Struktur Dinding Geser

   Pada struktur dinding geser, seluruh bagian dinding bekerja untuk menahan beban lateral yang bekerja pada bangunan.

d. Struktur *Framed-Tube*

   Struktur penahan lateral *framed-tube* terdiri dari portal-portal penahan momen yang sangat kaku yang membentuk pipa disekitar perimeter bangunan. Portal ini terdiri kolom-kolom berjarak dekat dan disambung dengan balok tinggi.

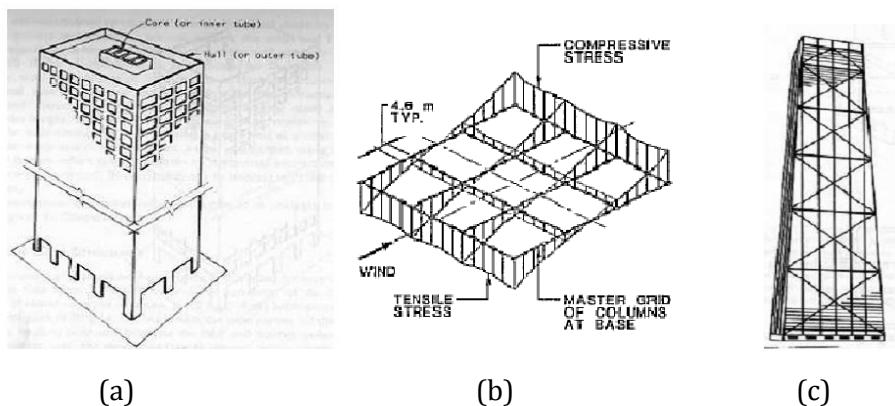
   1) *Tube in Tube*

      Struktur *tube in tube* atau *hull-core* adalah salah satu variasi dari portal *tube* yang terdiri dari portal *tube* bagian luar atau yang disebut dengan *hull*, dan portal *tube* bagian dalam pada *service core.*

   2) *Bundled Tube*

      Struktur *bundled tube* adalah varian dari portal *tube* dimana beberapa kelompok individual *tube* yang digabung menjadi satu kesatuan.

3) *Braced-Tube*

Struktur *braced-tube* adalah salah satu cara lainnya untuk meningkatkan efisiensi dari portal *tube* dengan menambahkan pengaku diagonal pada permukaan *tube*.

Gambar 2. Struktur *Framed-Tube*

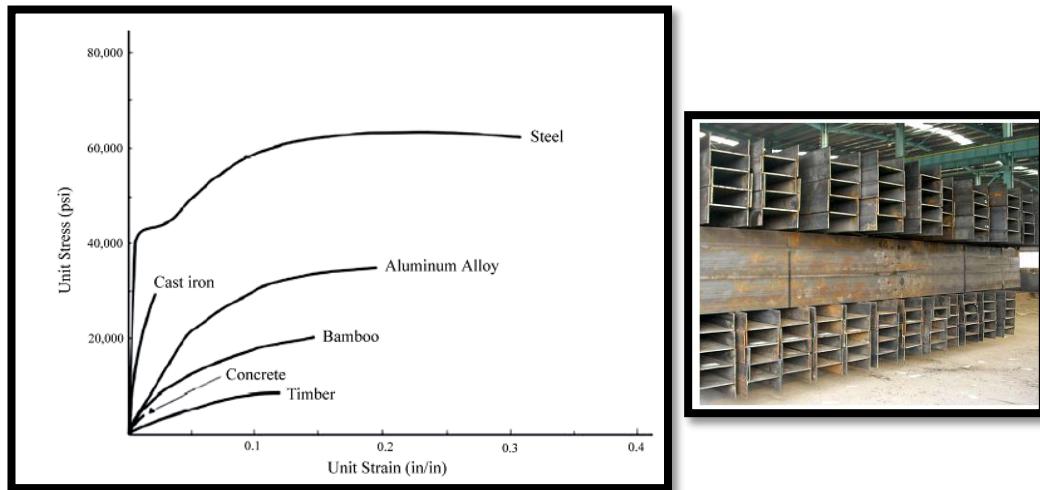
(a) Tube in Tube, (b) Bundled Tube, (c) Braced-Tube

Sumber : Mahar Priguna, Badia. 2011

II.2 Material Baja

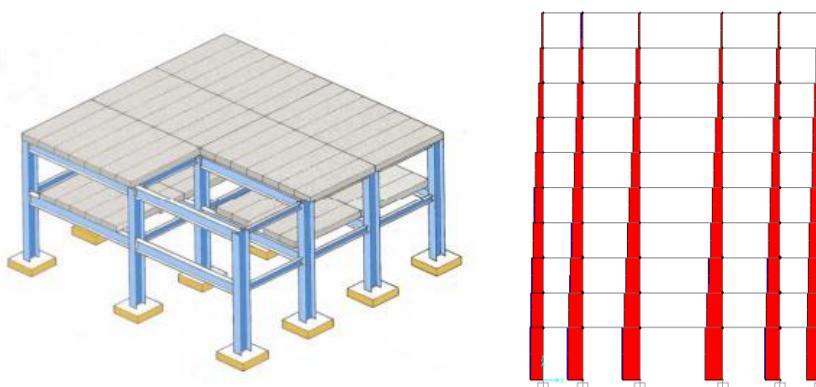
Baja merupakan material yang unggul dibanding beton dan kayu jika dilihat dari kriteria dasar yaitu: [1] kekuatan (tegangan); [2] kekakuan (deformasi); dan [3] daktilitas (perilaku runtuh). (Dewobroto,2011).

Rasio kuat dibanding berat untuk volume yang sama dari baja ternyata lebih tinggi (efisien) dibanding beton, sehingga dihasilkan bangunan yang relatif ringan (Norderson, 2003). Ini penting pada bangunan tahan gempa. Seperti diketahui bahwa gaya gempa pada bangunan ditentukan oleh percepatan tanah (a) dan juga massa bangunan (m), yang mana besarnya berbanding lurus, yaitu F = m.a. Jadi bangunan dengan massa kecil maka gaya gempanya juga kecil (Dewobroto,2011).

Selain itu, material baja punya karakter kekuatan tinggi, relatif kaku dan sangat daktail, yang merupakan syarat ideal mengantisipasi beban tak terduga. Karena produk pabrik, mutunya relatif seragam, tetapi karena itu pula ukuran dan bentuknya tertentu, terpisah dan baru disatukan di lapangan (Dewobroto,2011).

Gambar 3. Perilaku Mekanik Material Konstruksi dan Contoh Profil Baja

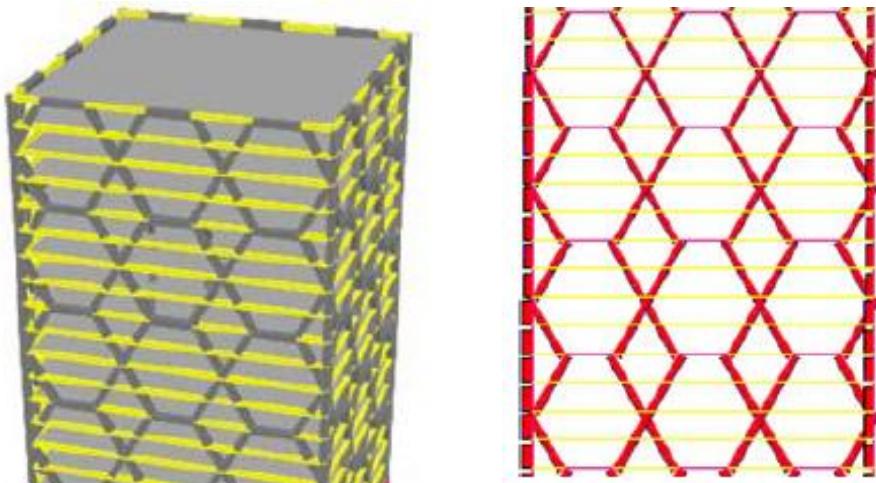
Sumber : Rittironk and Elnieiri, 2008

II.3 Sistem Struktur Rangka

Struktur kerangka atau skeleton terdiri atas komposisi dari kolom-kolom dan balok-balok. Kolom sebagai unsur vertikal berfungsi sebagai penyalur beban dan gaya menuju tanah, sedangkan balok adalah unsur horisontal yang berfungsi sebagai pemegang dan media pembagian beban dan gaya ke kolom. Kedua unsur ini harus tahan terhadap tekuk dan lentur. Selanjutnya dilengkapi dengan sistem lantai, dinding, dan komponen lain untuk melengkapi kebutuhan bangunan untuk pembentuk ruang. Sistem dan komponen tersebut diletakkan dan ditempelkan pada kedua elemen rangka bangunan (Engel, 1981). Namun struktur ini masih sangat kurang efisien, jika dilihat dari berat struktur bangunan dan perpindahannya.

Gambar 4. Struktur Rangka

Sumber : Schodesk, 1999

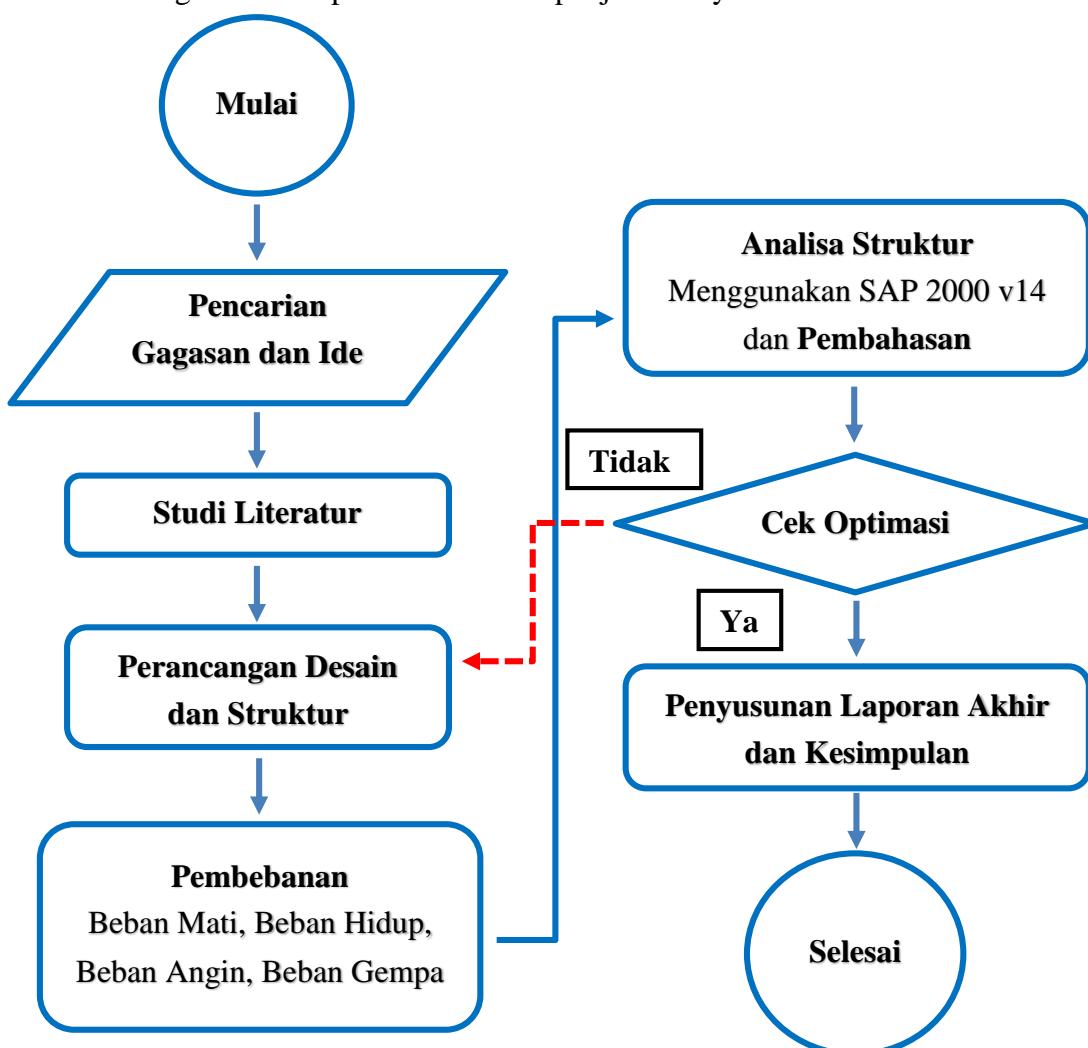
II.4 Sistem Struktur Hexagrid

Sistem struktur yang baru berkembang adalah struktur hexagrid yang terinspirasi oleh '*Beehive*' (salah satu struktur yang stabil di alam). sistem struktur ini terdiri oleh beberapa segi enam sama tinggi dengan ketinggian tertentu seperti di Beehive. Struktur hexagrid bertumpu pada poligon dengan enam elemen sistem (Bungale S. Tranath, 2014). Sistem struktur Hexagrid terdiri dari perimeter hexagrid yang terdiri dari jaringan bertingkat tinggi sistem rangka hex-angulated. Hexagrid dibentuk dengan memotong komponen diagonal dan horizontal. Inovasi ini mentransfer baik beban gravitasi dan beban lateral dengan mengalihkan kekuatan rangka, dan menghilangkan kebutuhan untuk kolom vertikal pada bagian luar bangunan tersebut (Peyman Askari Nejad, 2016). Struktur ini memiliki keuntungan dari distribusi tegangan yang seragam karena memiliki sudut seragam 1200 diantara setiap dua elemen. Namun pada struktur ini memiliki kelemahan pada peranan menahan beban lateral yang sangat kurang, sehingga mengakibatkan kekakuan bangunan berkurang.

Gambar 5. Struktur Hexagrid

Sumber : Peyman Askari Nejad, 2016

BAB III DESKRIPSI PRODUK

III.1 Metode Penelitian

Dalam penulisan karya tulis ilmiah berjudul "HONEYSS (*Honeycomb Structural System*) Desain Struktur Hexagrid Termodifikasi sebagai Inovasi Efektifitas Struktur Bangunan Gedung untuk Mewujudkan Konstruksi Masa Depan" dengan mengacu pada SNI 1726-2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung serta SNI 03-1727-2013 tentang Tata Cara Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung. Berikut adalah bagan metode penelitan beserta penjabarannya.

Gambar 6. Metode Penelitian HONEYSS (*Honeycomb Structural System*)

Sumber: Zuhri, 2016

III.1.1 Pencarian Gagasan dan Ide

Dalam pencarian gagasan dan ide adalah pencarian ide untuk konsep HONEYSS (*Honeycomb Structural System*) / struktur hexagrid termodifikasi sebagai inovasi sistem struktur yang memiliki nilai efisien tinggi, sangat kuat namun ringan sehingga dapat mewujudkan sebuah *great construction* dan dapat menjadi solusi terbaik untuk konstruksi rumah susun masa depan di Indonesia.

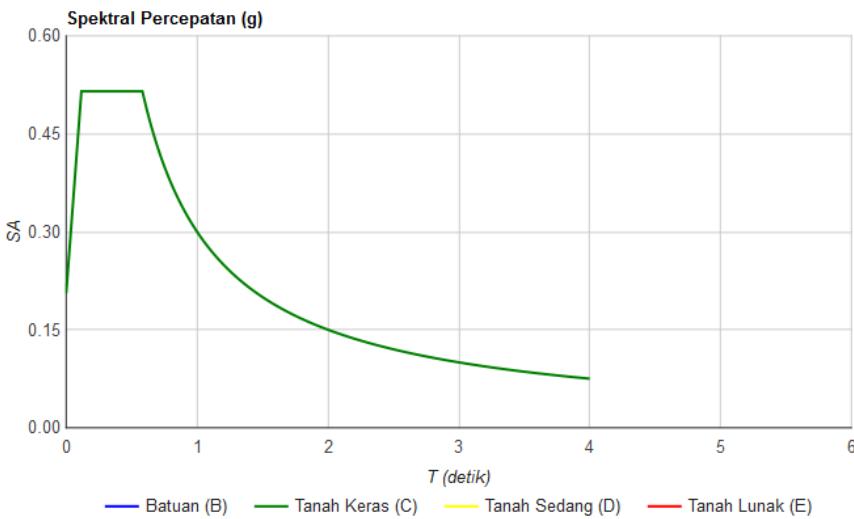
III.1.2 Studi Literatur

Studi literatur berisi serangkaian kegiatan pencarian dan pengkajian sumber-sumber yang relevan dan terpercaya dalam pengumpulan materi dan menjadi acuan dalam penulisan makalah ini. Literatur yang dipakai adalah literatur yang menitik beratkan pada pembebanan bangunan, sistem struktur bangunan, sistem struktur penahan beban lateral, penggunaan material baja, dan sistem struktur grid. Dalam penulisan studi literatur menggunakan banyak literatur berbeda agar dapat menghasilkan informasi yang lengkap, terarah dan terpercaya dalam menulis serta memeberikan variasi dalam pengembangan Konsep HONEYSS (*Honeycomb Structural System*) / struktur hexagrid termodifikasi.

III.1.3 Perancang Desain dan Struktur

Dalam Perancangan ini berisikan perancangan konstruksi HONEYSS (*Honeycomb Structural System*) / struktur hexagrid termodifikasi. Dengan mengacu pada studi literatur yang sudah dicari. Penulis merencanakan desain struktur bangunan gedung bertingkat yang efisien, kuat, ringan yaitu menggunakan bentuk geometri segienam (hexagrid) termodifikasi dengan material baja. Desain tersebut akan dibandingkan dengan desain grid struktur hexagrid dan struktur rangka.

III.1.4 Pembebanan

Konstruksi HONEYSS (*Honeycomb Structural System*), struktur hexagrid dan struktur rangka akan dimodelkan dengan program komputer SAP 2000 v14 lalu diberi pembebanan berupa beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban gempa. Pembebanan yang diberikan sesuai dengan Tata Cara Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (SNI 03-1727-2013). Sedangkan untuk gempa menggunakan respon struktur spektrum gempa rencana Jakarta.

Gambar 7. Respon Spektrum Gempa Rencana Jakarta (Tanah Keras C)

Sumber : puskim.pu.go.id, 2016

III.1.5 Analisa Struktur dengan SAP 2000 v14 dan Pembahasan

Dalam tahap analisia, HONEYSS (*Honeycomb Structural System*) / struktur hexagrid termodifikasi, struktur hexagrid dan struktur rangka dihitung menggunakan program komputer SAP 2000 v14 sehingga akan mendapatkan nilai perbandingan berupa pembahasan volume struktur, gaya dalam dan kinerja batas layan bangunan sesuai SNI 03-1726-2012. Penggunaan program komputer SAP 2000 v14 pada analisa struktur dikarenakan kompleksitas struktur dan pembebanan sehingga tidak memungkinkan untuk menggunakan perhitungan manual karena sangat tidak efisien dan membutuhkan waktu yang lama.

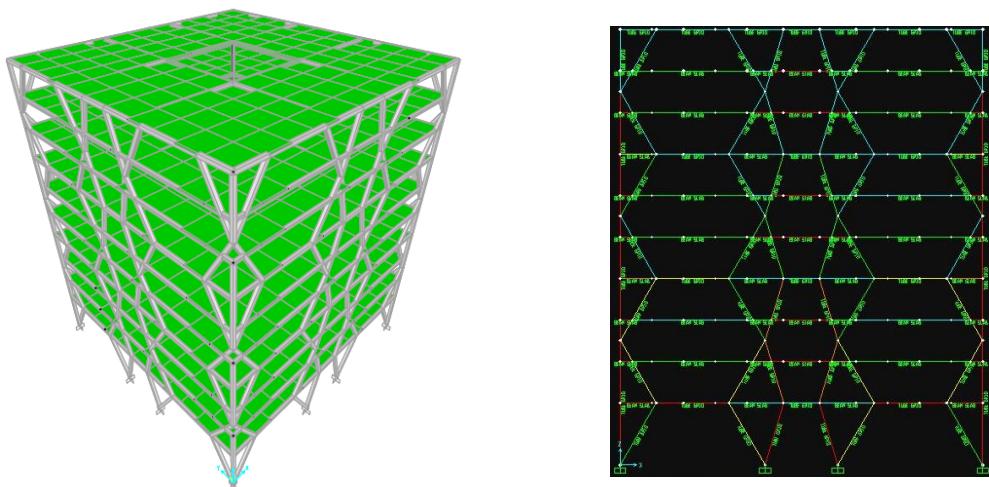
III.1.6 Cek Optimasi

Dalam tahap ini dilakukan pengecekan volume struktur, gaya dalam dan kinerja batas layan bangunan sesuai SNI 03-1726-2012. HONEYSS (*Honeycomb Structural System*) / struktur hexagrid termodifikasi, struktur hexagrid dan struktur rangka akan dibandingkan apakah HONEYSS (*Honeycomb Structural System*) lebih efisien, kuat, ringan daripada struktur hexagrid dan struktur rangka. Apabila struktur hexagrid atau struktur rangka lebih efisien, kuat, ringan maka akan dilakukan perancangan desain dan struktur kembali. Apabila HONEYSS (*Honeycomb Structural System*) sudah memenuhi kriteria, maka akan dilakukan penyusunan laporan akhir dan kesimpulan.

III.1.7 Penyusunan Laporan Akhir dan Kesimpulan

Dalam tahap ini dilakukan menuyusun laporan hasil dari analisa dan mengambil kesimpulan dari analisa yang telah dilakukan serta mengevaluasi hasil perencanaanya guna mengetahui kelebihan dan kekurangan dari perencanaan tersebut untuk pembenahan penulisan dan model struktur nyata dikemudian hari.

III.2 HONEYSS (*Honeycomb Structural System*) / Sistem Struktur Hexagrid Termodifikasi

HONEYSS (*Honeycomb Structural System*) / struktur hexagrid termodifikasi merupakan sistem struktur yang peranannya mampu menahan momen dan menjaga kekakuan bangunan berada pada konfigurasi elemen struktur pada tepi bangunan. Perbedaan dengan sistem struktur sebelumnya adalah, hampir semua kolom vertikal pada sistem hexagrid termodifikasi dieliminasi sehingga ruang dalam gedung bisa menjadi lebih luas dan dimanfaatkan secara arsitektural dengan lebih optimal, baik dari segi cahaya maupun udara. Dari segi pengunaan material HONEYSS / struktur hexagrid termodifikasi lebih hemat dibanding sistem struktur lainnya. Konfigurasi hexagonal yang berulang pada sistem hexagrid membuat distribusi beban pada elemen struktur menjadi lebih baik dan efisien. Dengan konfigurasi yang saling berhubungan dengan menggunakan *joint connection*, saat suatu elemen akan mengalami kegagalan maka beban akan tersalur ke elemen yang lain.

Gambar 8. *Honeycomb Structural System* / Struktur Hexagrid Termodifikasi

Sumber : Zuhri, 2016

BAB IV PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

IV. 1 Filosofi Konsep Sistem Struktur Hexagrid Termodifikasi / HONEYSS (*Honeycomb Structural System*)

1. Konsep Hunian Al-Qur’an

وَأَوْحَىٰ رَبُّكَ إِلَى النَّحْلِ أَنِ اتَّخِذِي مِنَ الْجِبَالِ بُيُوتًا وَمِنَ الشَّجَرِ وَمِمَّا
يَعْرِشُونَ

“*Dan Tuhanmu mewahyukan kepada lebah: "Buatlah sarang-sarang di bukit-bukit, di pohon-pohon kayu, dan di tempat-tempat yang dibikin manusia*"
(QS. An-Nahl : 68).

Maksud petikan ayat 68 Surah An-Nahl (Surah Lebah) di dalam Al Quran. Dan inilah jawaban bagi persoalan mengenai hunian. Dimana Allah SWT mengajarkan kepada manusia bagaimana menciptakan hunian terbaik untuk manusia melalui lebah. Adapun bentuk konstruksi sarang lebah sebagaimana pada gambar 9.

Gambar 9. Sarang Lebah / Hexagonal & Perhitungan Luas

Sumber : wordpress.com, 2017

Dari gambar 8 terlihat sarang lebah berbentuk segienam, karena segienam merupakan geometri yang tidak menimbulkan ruang kosong jika dirangkaikan. Selain segienam ada bangun ruang yang berfungsi sama yaitu persegi dan segitiga.

Dari ketiga alternatif jika dibandingkan, segienam memiliki efisiensi yang tertinggi. contohnya keliling (parameter) 1 cm, luas bagi bentuk segitiga ialah 0.048 cm^2, segiempat ialah 0.063 cm^2 dan segienam ialah 0.072 cm^2. dengan ukuran parameter yang sama, bentuk heksagon (segienam) mempunyai keluasan ruang yang paling besar.

Dengan bentuk geometri segienam jumlah lilin lebah (beeswax) dapat dimaksimalkan penggunaannya dan ruang lebihnya dapat dihasilkan untuk menyimpan madu lebah. Setiap dinding sel sarang lebah hanya mempunyai ketebalan 0.05 mm saja. Dan yang menariknya, membina sel sarang dengan bentuk hexagon, membolehkan ia menampung beban sebanyak 25 kali ganda melebihi beratnya. Dengan desain seperti itu sarang lebah dapat mengoptimalkan baik dari segi struktural maupun non-struktural. (Norman Hamdan, 2012).

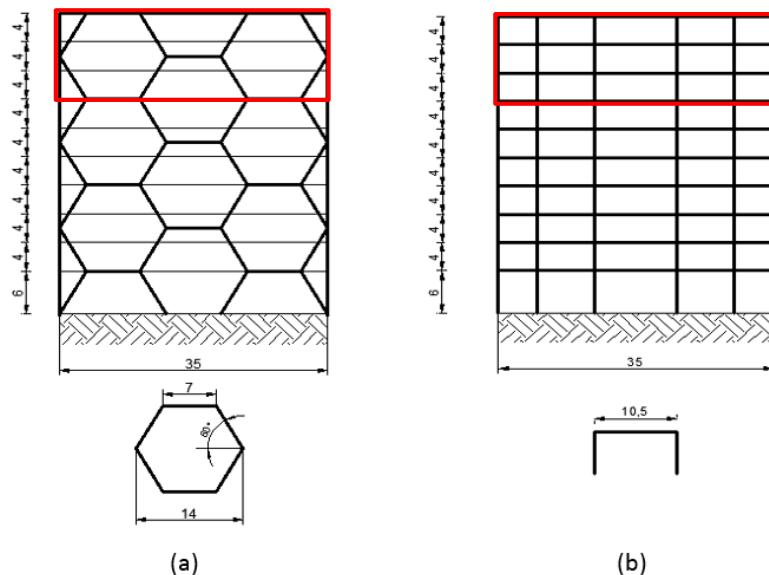
IV.2 Desain Rancangan

Untuk mengetahui sistem struktur yang efisien, kuat, ringan maka dilakukan perbandingan antara HONEYSS / struktur hexagrid termodifikasi, struktur hexagrid, dan struktur rangka. Dalam **Tabel 1** adalah data desain rancangan struktur yang akan dimodelkan ke dalam program komputer SAP 2000 v14.

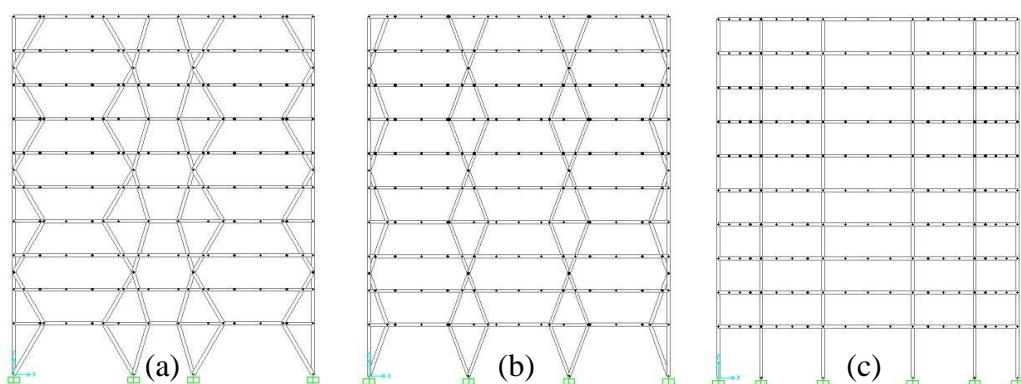
Tabel 1. Desain Rancangan Struktur (Sumber: Zuhri, 2016)

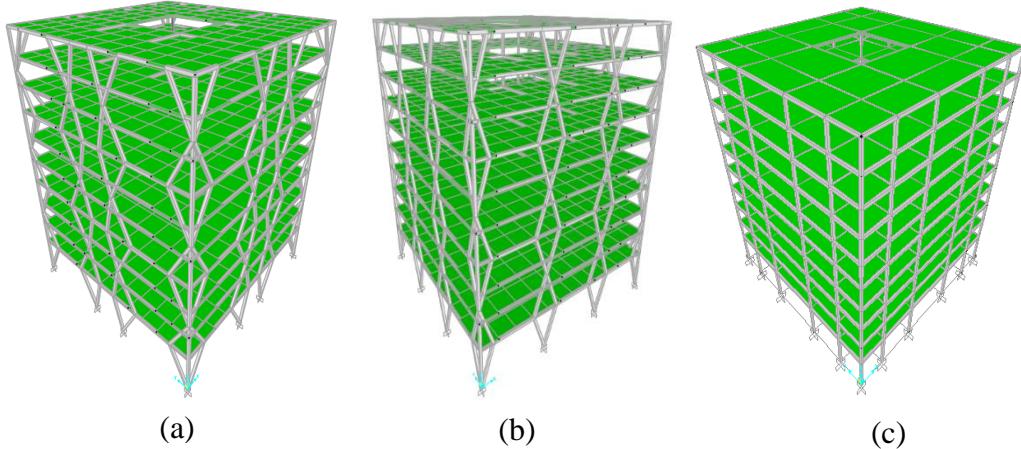
Deskripsi	Nilai
Tinggi bangunan	42 m
Panjang bangunan	35 m
Lebar bangunan	35 m
Tinggi Lantai	6 m (Lt 1)
	4 m (Lt 2 Typikal)
Material :	
(-) Pelat	Beton 12 cm
fc'	30MPa
(-) Frame	RHS 350 x 15, BJ50
fy	390 N.mm
fu	500 N.mm

Dead Load (DL)	80 kg/m^2
Live Load (LL)	250 kg/m^2 (Kantor) SNI 03-1727-2013

1. Geometri struktur

Gambar 10. Geometri Struktur (Sumber: Zuhri, 2016)
(a) Struktur Hexagrid, (b) Struktur Rangka

Dapat dilihat dari geometri struktur, material yang dipakai untuk membentuk struktur hexagrid empat lantai atas sesuai dengan keliling hexagrid yaitu 126 cm. Sedangkan untuk membentuk struktur rangka empat lantai atas sebesar 212 cm. Sehingga bentuk segienam dari sistem hexagrid memiliki efisiensi lebih tinggi dari bentuk segiempat dari sistem rangka. Sehingga bahan yang digunakan menjadi lebih hemat.

2. Permodelan Struktur

Gambar 11. Permodelan Struktur 2D (Sumber: Zuhri, 2016)
(a) Potongan HONEYSS / Struktur Hexagrid Termodifikasi,
(b) Potongan Struktur Hexagrid, (c) Potongan Struktur Rangka

(a) (b) (c)

Gambar 12. Permodelan Struktur 3D (Sumber: Zuhri, 2016)
(a) Model 3D HONEYSS / Struktur Hexagrid Termodifikasi,
(b) Model 3D Struktur Hexagrid, (c) Model 3D Struktur Rangka

Untuk detail dimensi HONEYSS, selengkapnya dapat dilihat di (Lampiran: 16).

IV.3 Reaksi Struktur dan Analisa Perhitungan Struktural

1. Reaksi struktur

Reaksi struktur menggunakan program komputer SAP 2000 v14. Pembebanan pada sistem struktur hexagrid berupa beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban gempa. Hasil reaksi struktur pada program komputer SAP 2000 v14 terlihat pada gambar dibawah ini.

Tabel 2. Gaya Momen pada 3 Sistem Struktur (Sumber: Zuhri, 2016)

Gaya Momen	HONEYSS (Hexagrid Modif) (A)	Struktur Hexagrid (B)	Struktur Rangka (C)	Selisih (A-B)	Selisih (A-C)
	kN.m	kN.m	kN.m	%	%
Beban Gravitasi					
(1,2DL+1,6LL)	459.3196	636.3321	573.9585	38.538	24.9584
Beban Lateral					
1,2DL+1,0LL+1,0EQx+0,3EQy	437.7371	596.8831	534.7416	36.3565	22.1604
1,2DL+1,0LL+0,3EQx+1,0EQy	437.6427	596.7374	534.7677	36.3526	22.1928

Pada tabel gaya momen diatas merupakan hasil output program SAP 2000 v14. Gaya momen yang dihasilkan pada HONEYSS (Hexagrid Modif) lebih kecil dibanding struktur hexagrid dan struktur rangka. Sehingga dapat disimpulkan

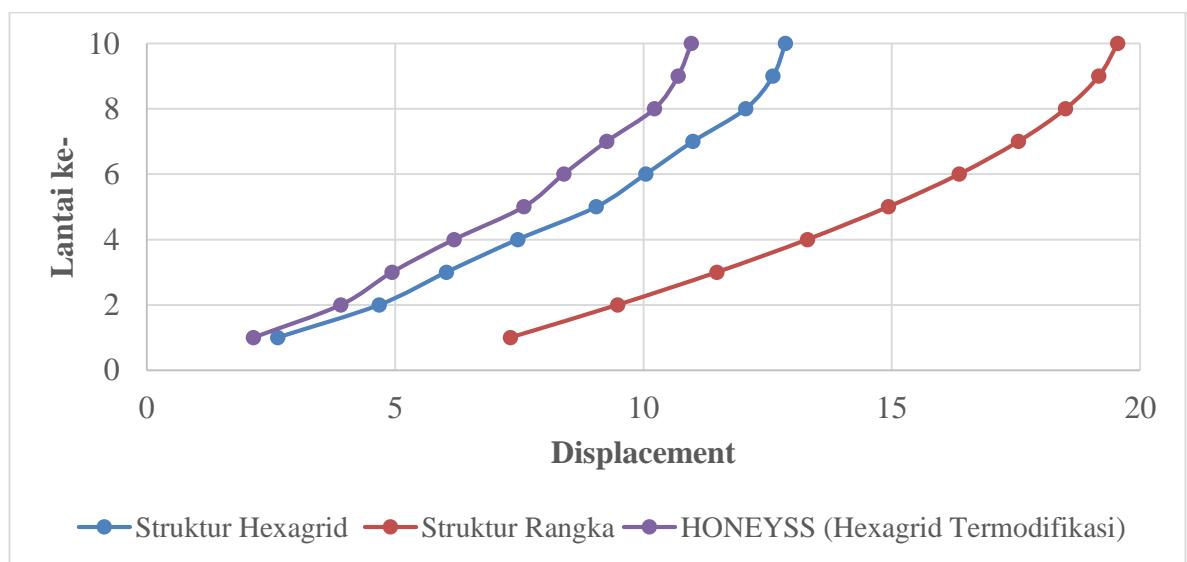
bahwa HONEYSS (Hexagrid Modif) lebih kaku daripada struktur hexagrid dan struktur rangka. Selengkapnya dapat dilihat di (Lampiran*:* 1, 2, 8, 9, 10).

Tabel 3. Gaya Aksial pada 3 Sistem Struktur (Sumber: Zuhri, 2016)

Gaya aksial	Sistem Hexagrid Termodifikasi (A)	Sistem Hexagrid (B)	Sistem Konvensional (C)	Selisih (A-B)	Selisih (A-C)
	kN	kN	kN	%	%
Beban Gravitasi					
(1,2DL+1,6LL)	4446.963	5442.796	8977.779	22.3936	101.886
Beban Lateral					
1,2DL+1,0LL+1,0EQx+0,3EQy	4016.816	4752.413	7275.05	18.3129	81.1148
1,2DL+1,0LL+0,3EQx+1,0EQy	4123.215	4751.904	7230.35	15.2475	75.3571

Pada tabel gaya aksial diatas merupakan hasil output program SAP 2000 v14. Gaya aksial yang dihasilkan pada HONEYSS (Hexagrid Termodifikasi) lebih kecil dibanding struktur hexagrid dan struktur rangka. Sehingga dapat disimpulkan bahwa HONEYSS (Hexagrid Termodifikasi) lebih kuat menerima gaya aksial dan memiliki kekauan struktur lebih daripada struktur hexagrid dan struktur rangka. Selengkapnya dapat dilihat di (Lampiran: 3, 4, 5, 6, 7).

2. Analisa Perhitungan Struktural

a. Aspek Kekakuan pada 3 Sistem Struktur (Kinerja Batas Layan Bangunan)

Gambar 13. Grafik *Displacement* Struktur (Sumber: Zuhri, 2016)

Dari analisa diatas didapatkan hasil perpindahan *(Displacement)* maksimum pada HONEYSS (Hexagrid Modif) sebesar 10,964 mm. Hasil tersebut masih berada dibawah batas simpangan ijin menurut SNI 1726-2012. Dapat disimpulkan bahwa HONEYSS (Hexagrid Modif) lebih kaku sebesar 17,28% dibanding struktur hexagrid, dan juga lebih kaku sebesar 78,30 % dibanding struktur rangka, sehingga bangunan memiliki memiliki ketahanan terhadap momen guling serta deformasi geser yang lebih efektif. HONEYSS juga memiliki tingkat keamanan yang tinggi dan lebih tahan terhadap gempa. Selengkapnya dapat dilihat di (Lampiran: 12).

b. Berat Struktur Bangunan

Tabel 4. Berat Struktur pada 3 Sistem Struktur (Sumber: Zuhri, 2016)

Sistem Struktur	TABLE: Groups 3 - Masses and Weights					
	GroupName	**SelfMass**	**SelfWeight**	**TotalMassX**	**TotalMassY**	**TotalMassZ**
	Text	Tonf-s2/m	Tonf	Tonf-s2/m	Tonf-s2/m	Tonf-s2/m
Rangka	ALL	622.58	6105.4466	622.58	622.58	622.58
Hexagrid	ALL	602.32	5906.6948	602.32	602.32	602.32
HONEYSS	ALL	590.7	5792.795	590.7	590.7	590.7

Dari segi berat struktur, dengan HONEYSS (Hexagrid Modif) didapatkan berat struktur 5792,795 ton. Sehingga dengan sistem struktur HONEYSS lebih ringan sebesar 1,97% dibanding struktur hexagrid, dan juga lebih ringan sebesar 5,3% dibanding struktur rangka. Dapat disimpulkan struktur HONEYSS (Hexagrid Modif) lebih kecil menerima gaya gempa karena besarnya gaya gempa berbanding lurus dengan berat bangunan. Selengkapnya dapat dilihat di (Lampiran: 13).

IV.4 Perbandingan Biaya dan Metode Konstruksi HONEYSS

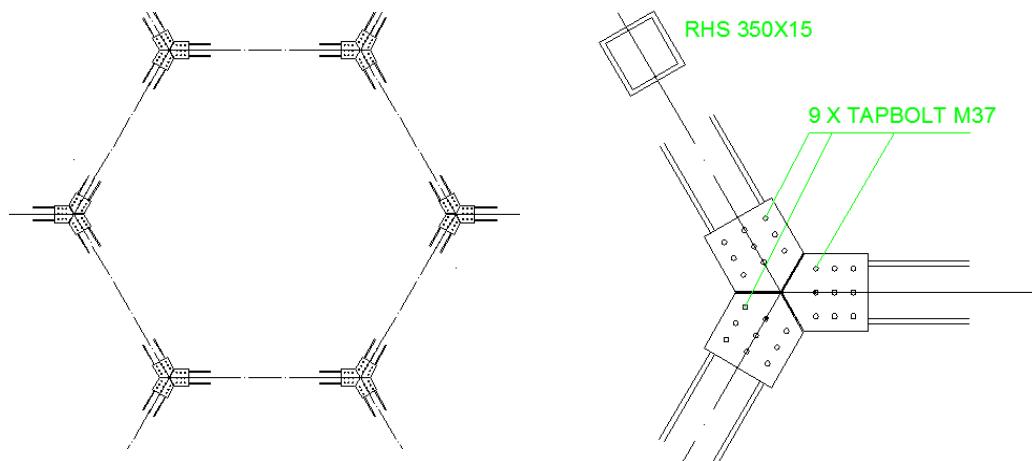
1. Biaya Struktur

Tabel 5. Biaya Struktur pada 3 Sistem Struktur (Sumber: Zuhri, 2016)

Sistem Struktur	TABLE: Material List 2 - By Section Property					
	Sub Beam A	**Tube Grid**	**Sub Beam B Coloumn**	**Beam Slab**	**Slab A (20 cm)**	**Total**
	Rupiah	Rupiah	Rupiah	Rupiah	Rupiah	
Rangka	Rp 407,722,812	Rp 2,650,466,400	Rp 621,291,920	Rp 2,310,429,492	Rp 396,851,000	Rp 6,386,761,624
Hexagrid	Rp 407,722,812	Rp 1,944,243,525	Rp 621,291,920	Rp 1,921,151,232	Rp 396,851,000	Rp 4,825,291,529
HONEYSS	Rp 407,722,812	Rp 1,591,325,775	Rp 155,322,960	Rp 1,821,026,172	Rp 392,777,406	Rp 4,368,175,125

Dari segi biaya struktur, struktur HONEYSS (Hexagrid Modif) membutuhkan biaya sebesar Rp 4.368.175.125. Dapat disimpulkan bahwa biaya struktur HONEYSS (Hexagrid Modif) lebih ekonomis sebesar 10,465% dibanding struktur hexagrid, dan juga lebih ekonomis sebesar 46,211% dibanding struktur rangka. Selengkapnya dapat dilihat di (Lampiran: 14).

2. Metode Konstruksi HONEYSS (*Honeycomb Structural System*) / Hexagrid Termodifikasi

- Dalam pembangunan proyek HONEYSS (Hexagrid Modif), simpul telah prefabrikasi di toko / pabrik menjadi elemen kaku, sehingga memungkinkan untuk bagian lain yang akan dibaut atau dilas di tempat lebih mudah, dan tanpa membutuhkan waktu sementara sampai simpul berikutnya terpasang.
- Desain simpul dalam konstruksi dibuat seragam sehingga fabrikasi simpul dapat dilakukan berulang. Hal tersebut dapat menghemat biaya pembuatan hexagrid.
- Ketepatan geometri pada simpul koneksi sangat penting, sehingga hal ini lebih menguntungkan untuk memaksimalkan fabrikasi toko untuk mengurangi kesulitan yang berhubungan dengan pekerjaan di lapangan.
- Letak sambungan dapat berpindah hingga satu meter jauhnya dari pusat massa simpul. Hal ini memungkinkan untuk akses yang lebih mudah untuk menyelesaikan koneksi di lokasi konstruksi.

Gambar 14. Skema *Joint* HONEYSS / Sistem Struktur Hexagrid Termodifikasi (Sumber: Zuhri, 2016)

BAB V PENUTUP

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan keseluruhan penulisan, dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu:

1. Filosofi konsep dari HONEYSS (*Honeycomb Structural System*) mengacu pada konsep hunian dalam AL-Qur'an surat An-Nahl ayat 68. Geometri segienam memiliki nilai efisiensi tertinggi dibanding dengan geometri lainnya.
2. Desain rancangan dari HONEYSS (Hexagrid Termodifikasi) memiliki dimensi tinggi bangunan 42 m, panjang dan lebar bangunan 35 m. Menggunakan material frame RHS 350 x 15, BJ50 dengan fy = 390 N.mm dan fu = 500 N.mm serta material pelat beton tebal 12 cm, dengan fc'= 30 Mpa.
3. HONEYSS memiliki kekakuan sebesar 17,28% dibanding struktur hexagrid, dan lebih kaku sebesar 78,30% dibanding struktur rangka. Dari segi berat struktur, HONEYSS memiliki berat struktur lebih ringan sebesar 1,97% dibanding struktur hexagrid dan lebih ringan sebesar 5,3% dibanding struktur rangka.
4. Biaya struktur HONEYSS senilai Rp 4.368.175.125 atau lebih ekonomis sebesar 10,465% dibanding struktur hexagrid dan lebih ekonomis sebesar 46,211% dibanding struktur rangka. Metode konstruksi HONEYSS mudah dan cepat dilaksanakan di lapangan, karena mengunakan material baja prefabrikasi yang seragam. Sehingga cocok untuk diterapkan pada rumah susun di Indonesia.

V.2 Rekomendasi

Berdasarkan keseluruhan pembahasan pada tulisan ini, dapat diambil beberapa rekomendasi yaitu:

1. Diadakan pengkajian metode konstruksi HONEYSS (Hexagrid Modif) lebih lanjut untuk memperoleh suatu metode pelaksanaan konstruksi yang lebih baik.
2. Rekomendasi adanya kerjasama dengan pihak pemerintah untuk merealisasikan secara konkret penggunaan HONEYSS pada rumah susun di Indonesia.
3. Penetapan hak paten tentang HONEYSS sebagai sebuah sistem struktur baru bagi dunia konstruksi khususnya untuk konstruksi rumah susun di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

AISC. 2005. *Specification for Structural Steel Building*. AISC: Chicago.

Al-Qur'an Surat An-Nahl Ayat 68

Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2012)*. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2013. *Tata Cara Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (SNI 03-1727-2013)*. Jakarta.

Bird, P., (2003), *An updated digital model of plate boundaries*: Geochemistry, Geophysics, Geosystems, v. 4, no. 3, 1027, doi:10.1029/2001GC000252, (http://element.ess.ucla.edu/publications/2003_PB2002/2001GC000252.pdf).

Boake, Terri Meyer. *Diagrids, The New Stablity System: Combining Architecture With Engineering*. University of Waterloo: Canada.

Boake, Terri Meyer. *Diagrid Structures: Innovation and Detailing*. University of Waterloo : Canada.

Bungale S. Taranath, *Reinforced Concrete Design of Tall Buildings*, CRC press

Dewobroto, Wiryanto. 2012. *Menyongsong Era Bangunan Tinggi dan Bentang Panjang.* Jakarta : Universitas Pelita Harapan.

Dewobroto, Wiryanto. 2011. *Prospek dan Kendala pada Pemakaian Material Baja untuk Konstruksi Bangunan di Indonesia.* Jakarta : Universitas Pelita Harapan.

Dr. Peyman Askarinejad, Beehive (Hexagrid), *Council on Tall Building and Urban Habitat*, September 2012

Engel, Heinrich (1981). *Structure Systems*. Van Nostrand Reinhold Company.

Hamdan, Norman. 2012. *Saranng Lebah Kenapa Heksagon.* infohikmah.wordpress.com

Hariyanto, Agus. 2011. *Analisis Kinerja Struktur pada Bangunan Bertingkat Tidak Beraturan dengan Analisis Dinamik Menggunakan Metode Analisis Respons Spectrum.* Surakarta: Universitas Sebelas Maret.

K. Moon. 2009. *Design and Construction of Steel Diagrid Structures*. Yale University : USA.

Mahar Priguna, Badia. 2011. *Verifikasi Perilaku Dan Kinerja Sistem Struktur Penahan Beban Lateral Kombinasi Srpmk Beton dan Rangka Bresing Baja Prategang.* Depok: Universitas Indonesia.

Milson, J., Masson D., Nichols G., Sikumbang N., Dwiyanto B., Parson L., Kallagher H., (1992), T*he Manokwari Trough and The Western End of The New Guinea Trench*, Tectonics, 11, 145-153.

Rittironk and Elnieiri, 2008. *Structure System*, Tectonics

Schodek, Daniel L. 1999. *Struktur Edisi kedua*. Jakarta: Erlangga.

Soo, dkk. 2008. *Structure Building Edisi ketiga*. Jakarta: Erlangga.

Yatrizal, Ruslan Effendi, dan Victor Samuel. 2013. *Sejarah Dan Perkembangan Bangunan Pencakar Langit*. Bandung: Institut Teknologi Bandung

Zuhri, Muhammad Syaifuddin. 2016. *Desain Struktur Hexagrid Sebagai Inovasi Efektifitas Struktur Bangunan untuk Mewujudkan Konstruksi Masa Depan*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember

CTBUH height criteria, www.ctbuh.org (Diakses 28 Desember 2016 17.30 WIB)

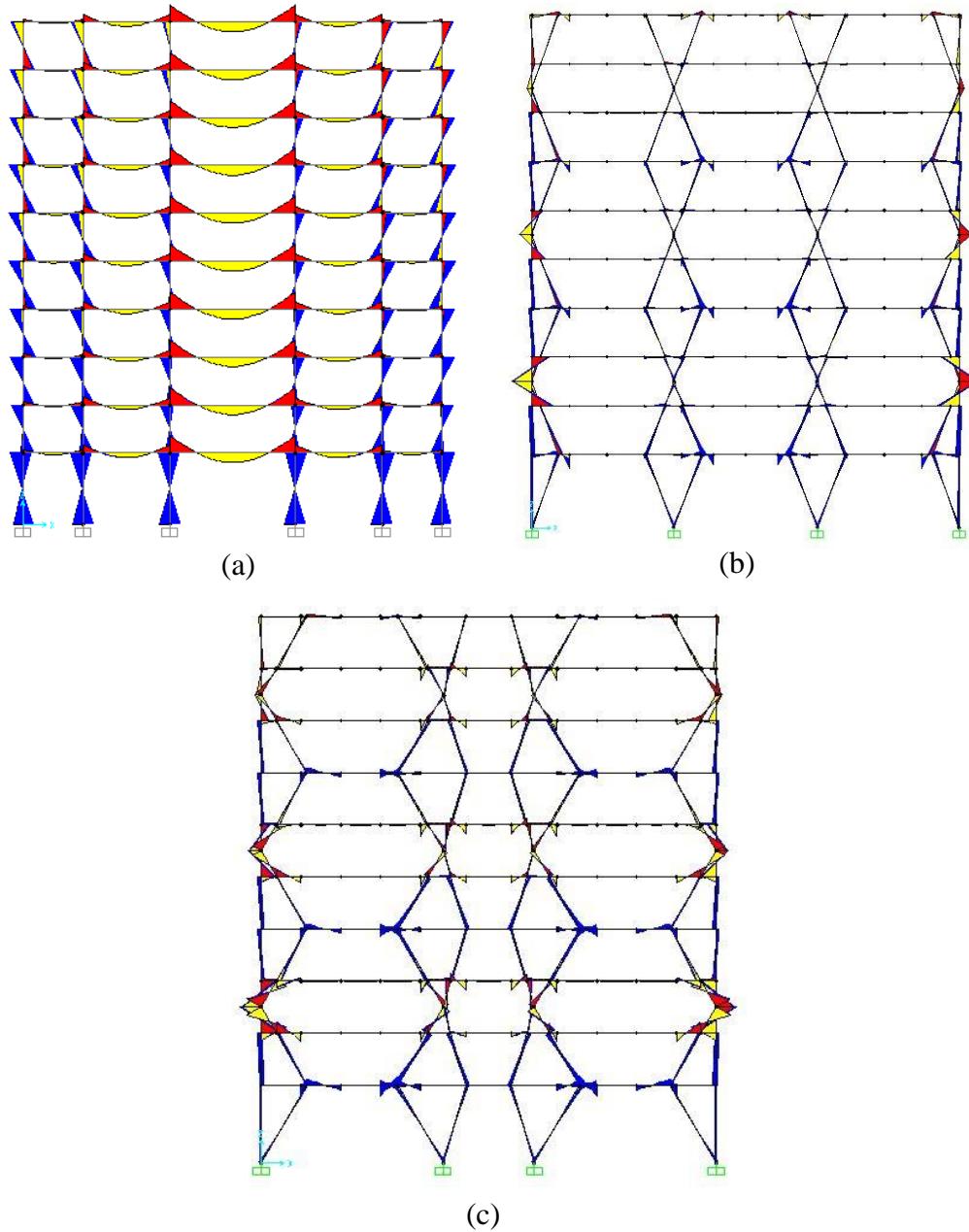
puskim.pu.go.id, 2017 (Diakses 16 Desember 2016 19.00 WIB)

www.bmkg.go.id (Diakses 20 September 2016 17.30 WIB)

www.wordpress.com (Diakses 16 September 2016 17.30 WIB)

LAMPIRAN

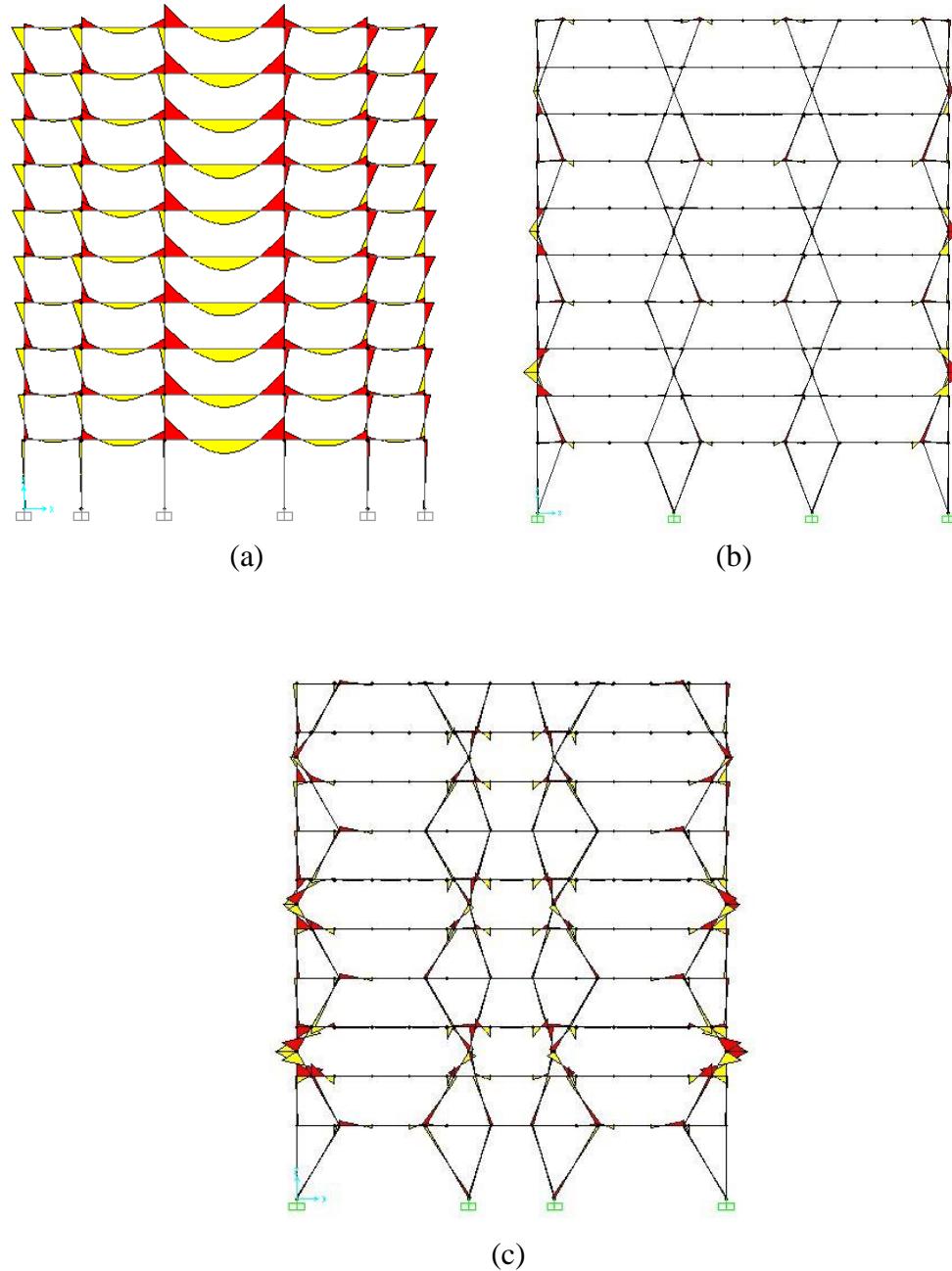
Lampiran 1.

Momen Lateral

(a) Momen Lateral pada Struktur Rangka, (b) Momen Lateral pada Struktur Hexagrid, (c) Momen Lateral pada HONEYSS (*Honeycomb Structural System*) / Struktur Hexagrid Termodifikasi. (Sumber: Zuhri, 2016)

Lampiran 2.

Momen *Gravity*

(a) (b)

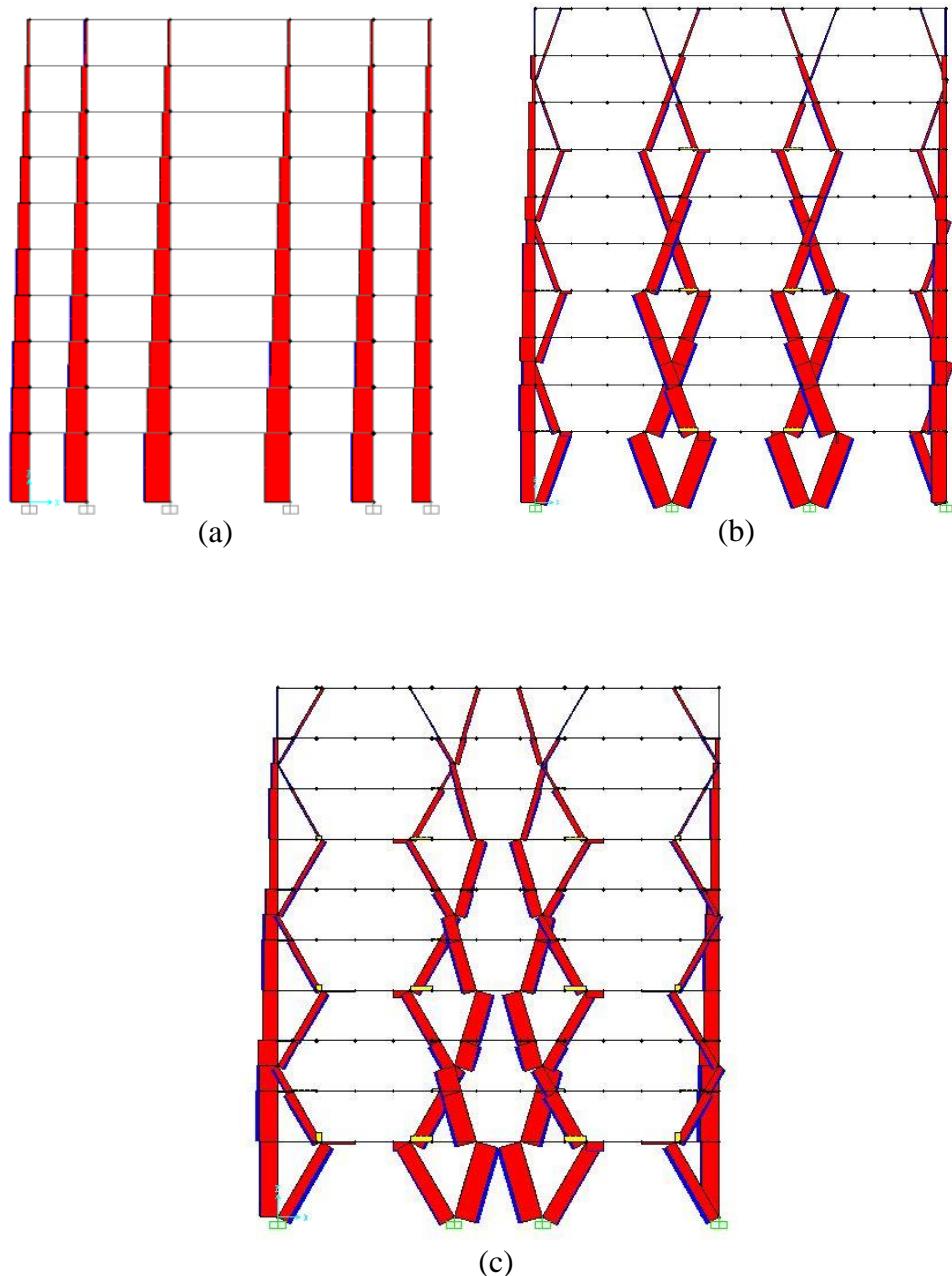
(c)

(a) Momen *Gravity* pada Struktur Rangka, (b) Momen *Gravity* pada Struktur Hexagrid, (c) Momen *Gravity* pada HONEYSS (*Honeycomb Structural System*) / Struktur Hexagrid Termodifikasi

(Sumber: Zuhri, 2016)

Lampiran 3.

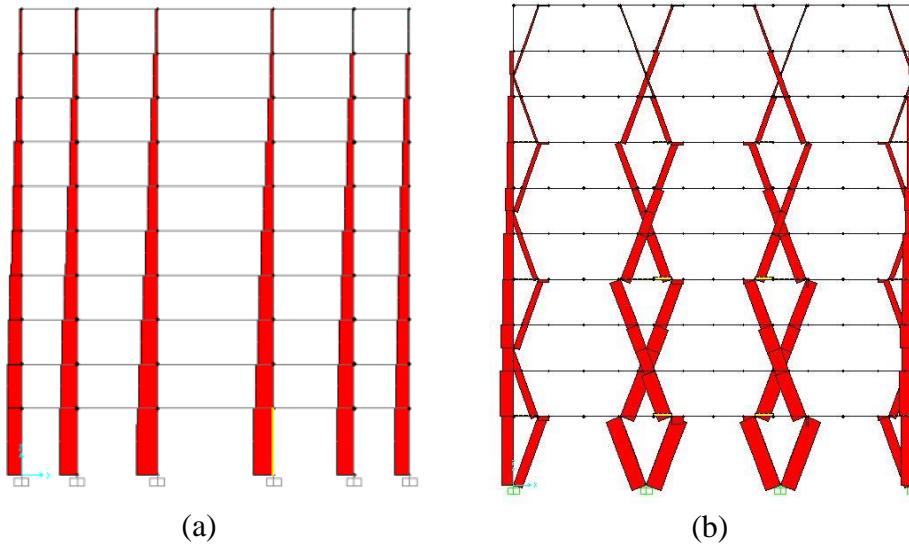
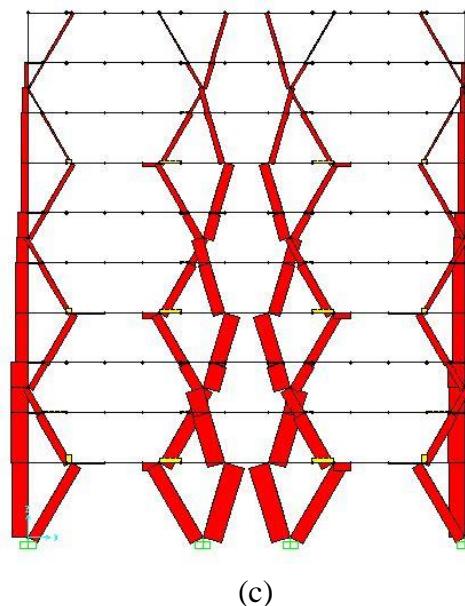
Aksial Lateral

(a) (b)

(c)

(a) Aksial Lateral pada Struktur Rangka, (b) Aksial Lateral pada Struktur Hexagrid, (c) Aksial Lateral pada HONEYSS (*Honeycomb Structural System*) / Struktur Hexagrid Termodifikasi

(Sumber: Zuhri, 2016)

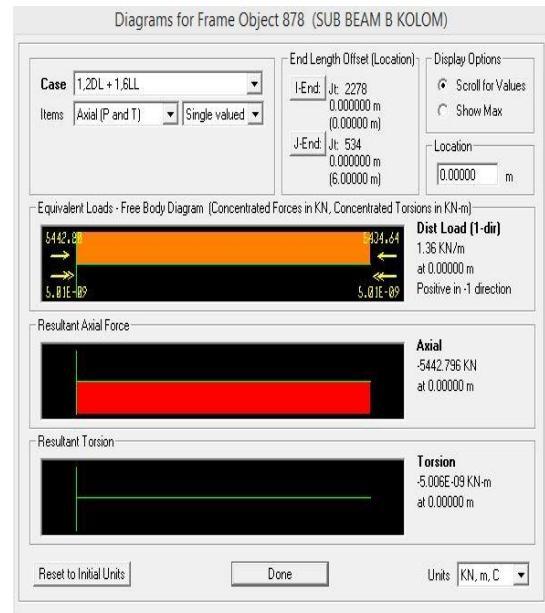
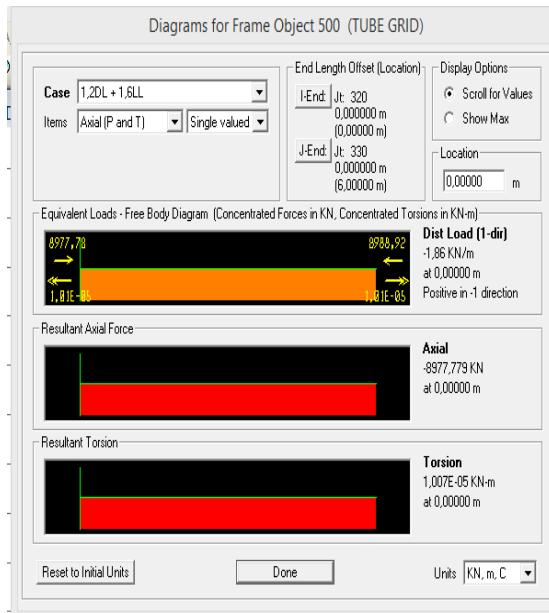
Lampiran 4.

Aksial *Gravity*

(a) (b)

(c)

(a) Aksial *Gravity* pada Struktur Rangka, (b) Aksial *Gravity* pada Struktur Hexagrid, (c) Aksial *Gravity* pada HONEYSS (*Honeycomb Structural System*) / Struktur Hexagrid Termodifikasi

(Sumber: Zuhri, 2016)

Lampiran 5.

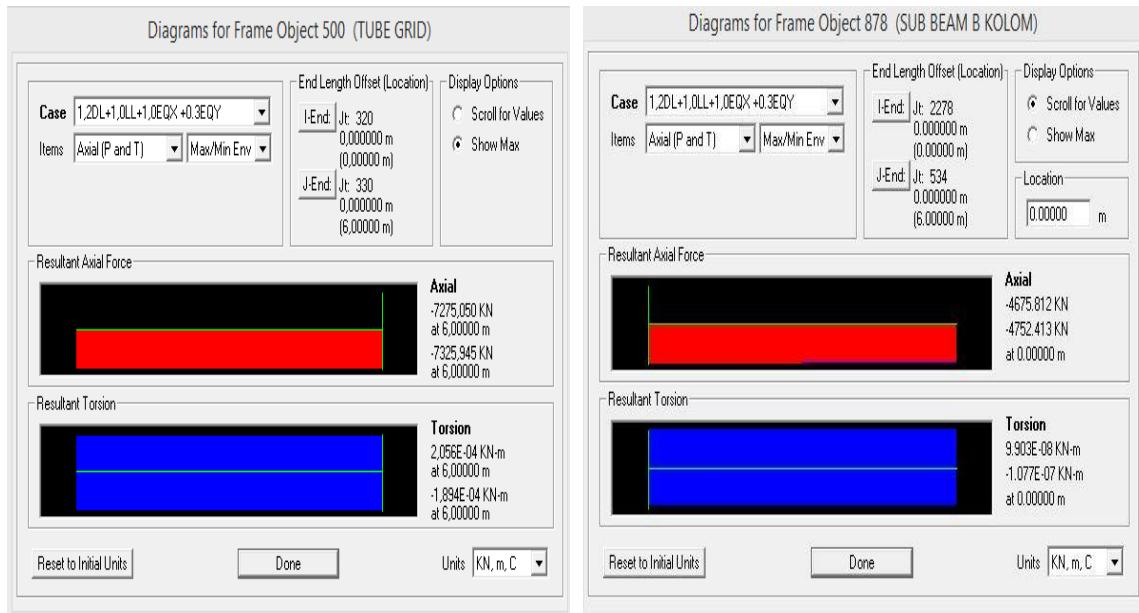
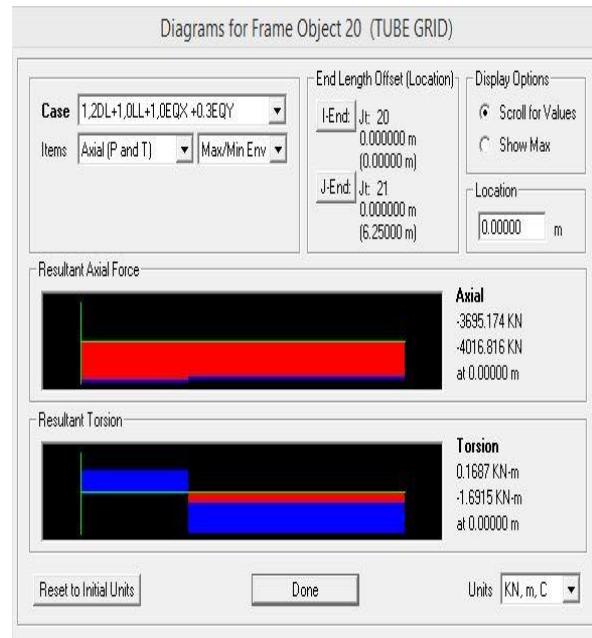
Gaya Aksial akibat beban grafitasi (1,2DL + 1,6LL)

Struktur Rangka

Struktur Hexagrid

HONEYSS (*Honeycomb Structural System*) / Struktur Hexagrid Termodifikasi

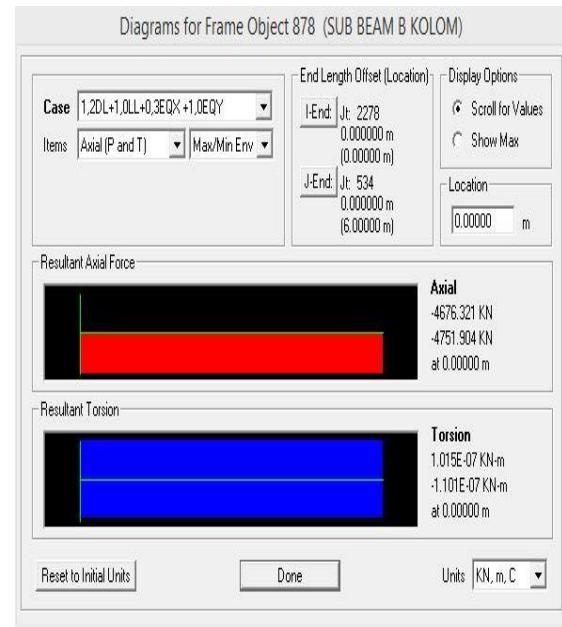
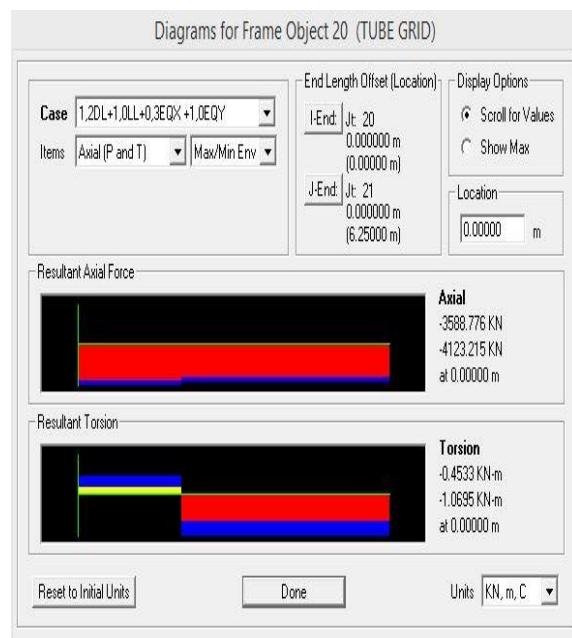
(Sumber: Zuhri, 2016)

Lampiran 6.

Gaya Aksial akibat beban lateral (1,2DL+1,0LL+1,0EQx+0,3EQy)

Struktur Rangka Struktur Hexagrid

HONEYSS (*Honeycomb Structural System*) / Struktur Hexagrid Termodifikasi

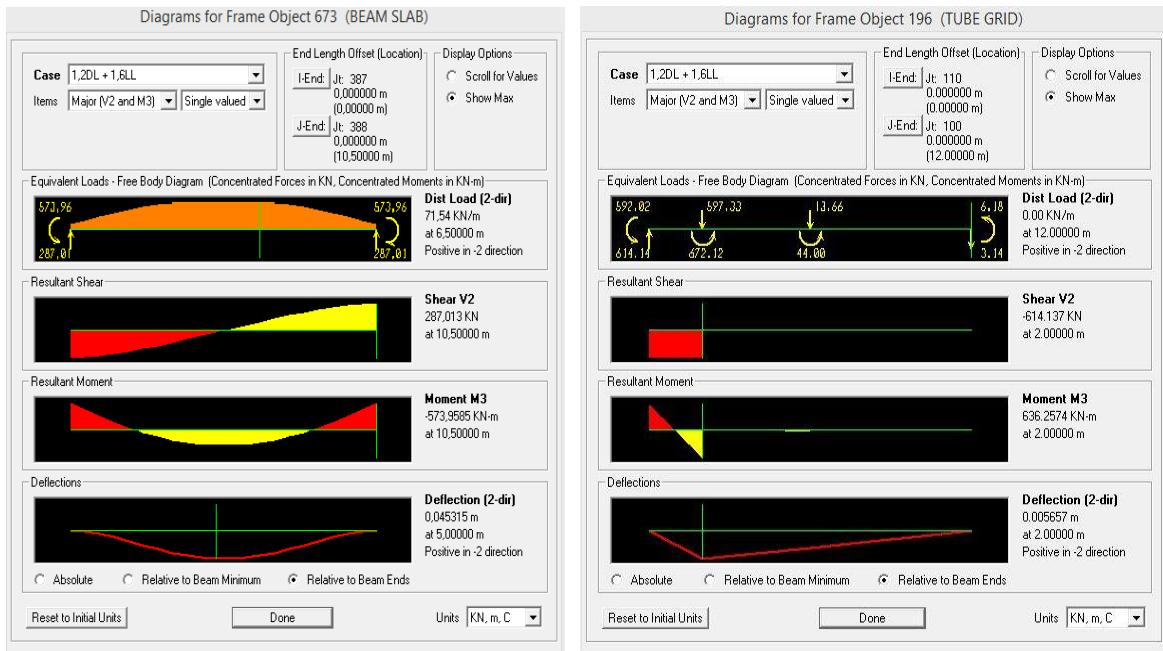
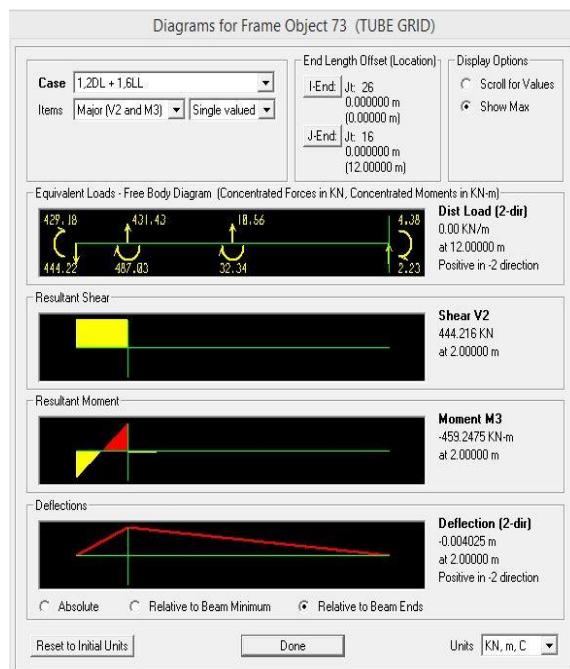
(Sumber: Zuhri, 2016)

Lampiran 7.

Gaya Aksial akibat beban lateral (1,2DL+1,0LL+0,3EQx+1,0EQy)

Struktur Rangka　　　　Struktur Hexagrid

HONEYSS (*Honeycomb Structural System*) / Struktur Hexagrid Termodifikasi

(Sumber: Zuhri, 2016)

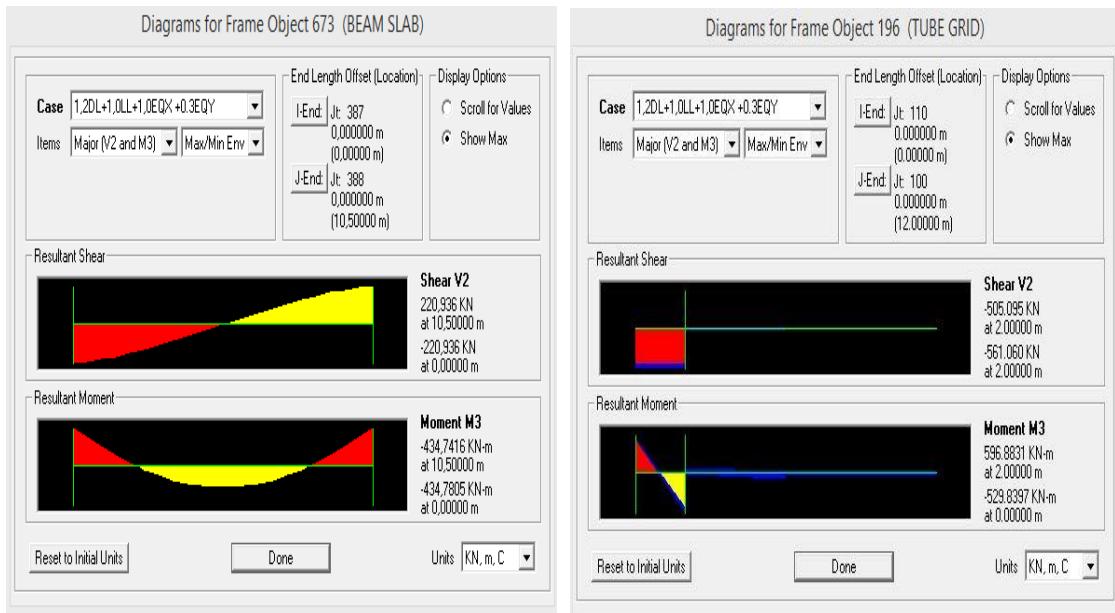
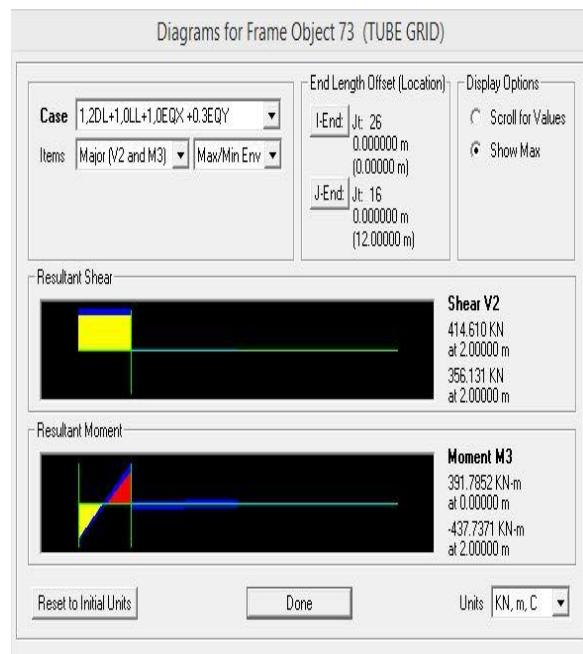
Lampiran 8.

Gaya Momen akibat beban grafitasi (1,2DL + 1,6LL)

Struktur Rangka Struktur Hexagrid

HONEYSS (*Honeycomb Structural System*) / Struktur Hexagrid Termodifikasi

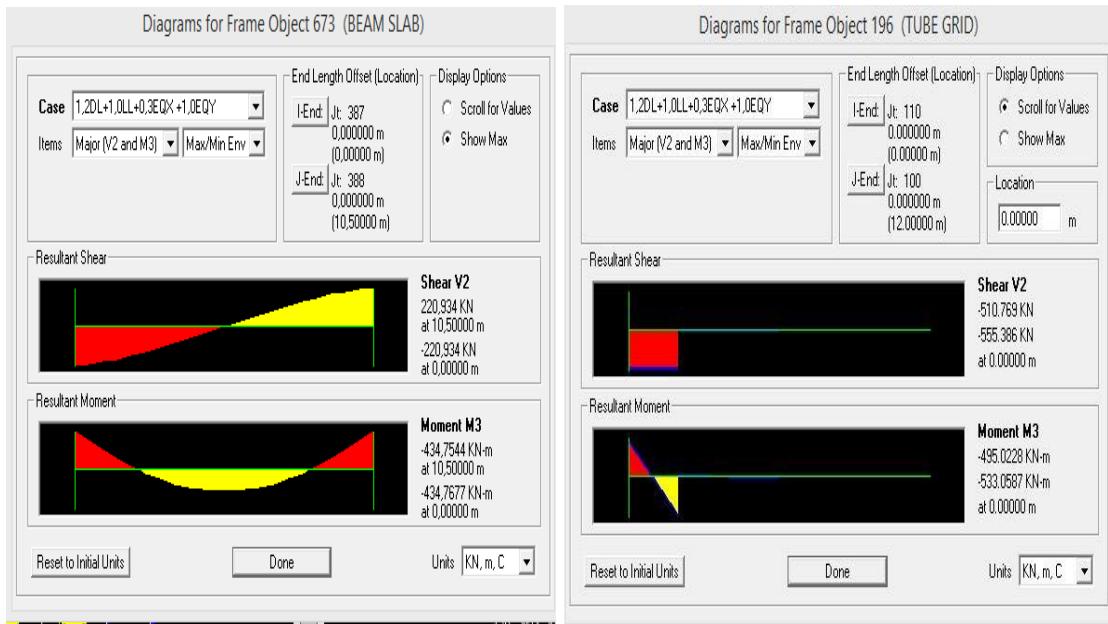
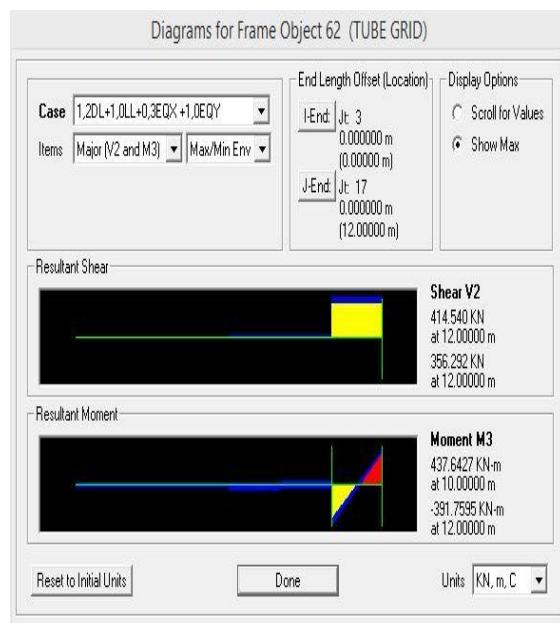
(Sumber: Zuhri, 2016)

Lampiran 9.

Gaya momen akibat beban lateral (1,2DL+1,0LL+1,0EQx+0,3EQy)

Sistem Rangka Sistem Hexagrid

HONEYSS (*Honeycomb Structural System*) / Struktur Hexagrid Termodifikasi

(Sumber: Zuhri, 2016)

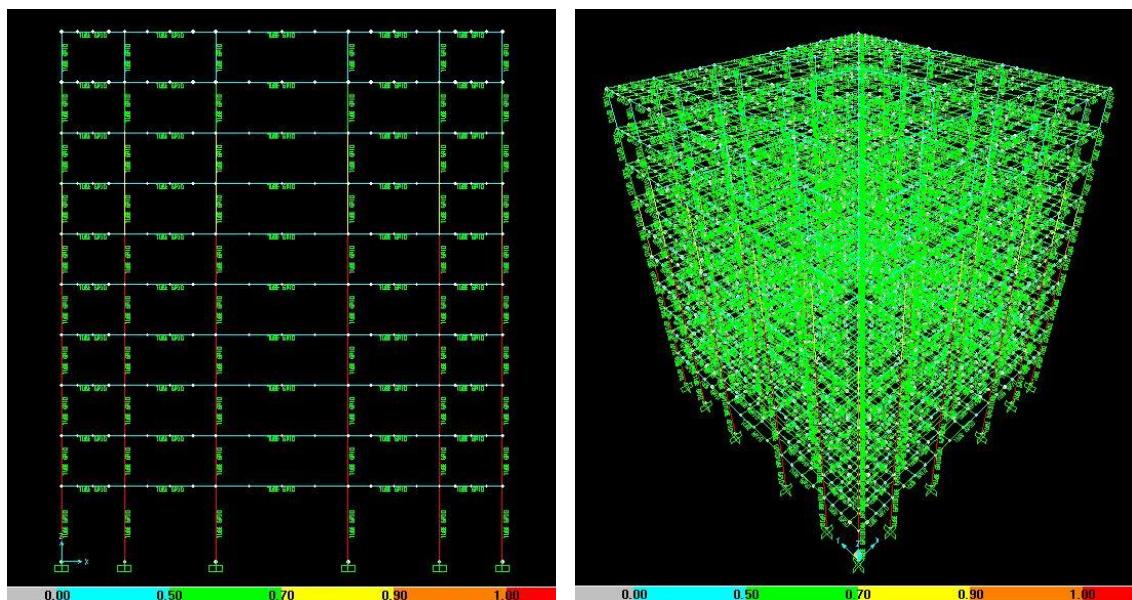
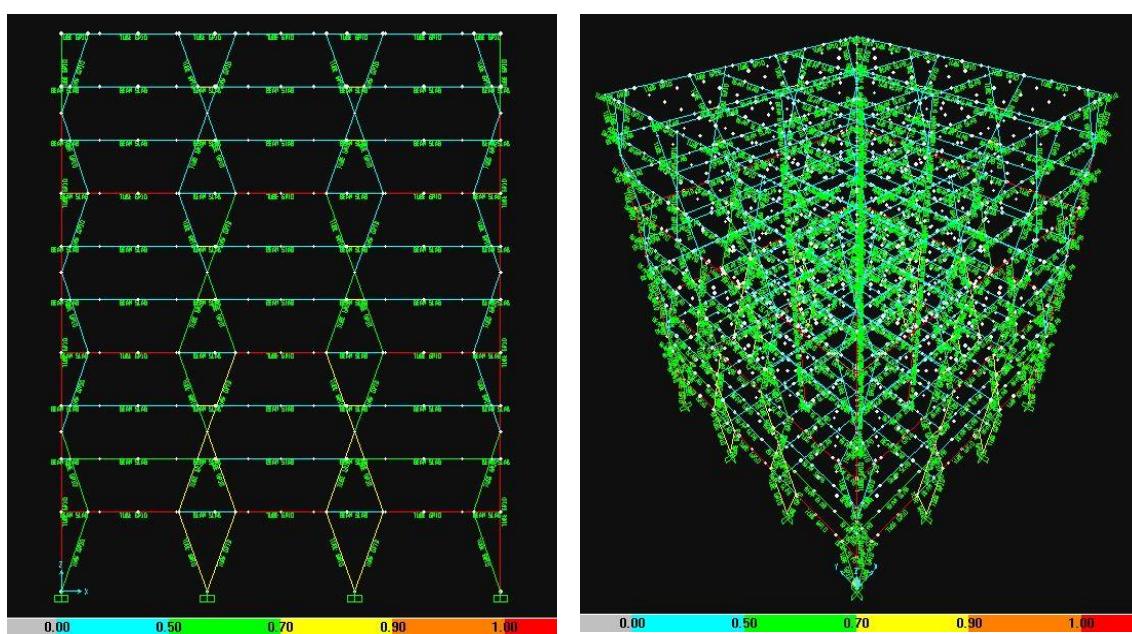
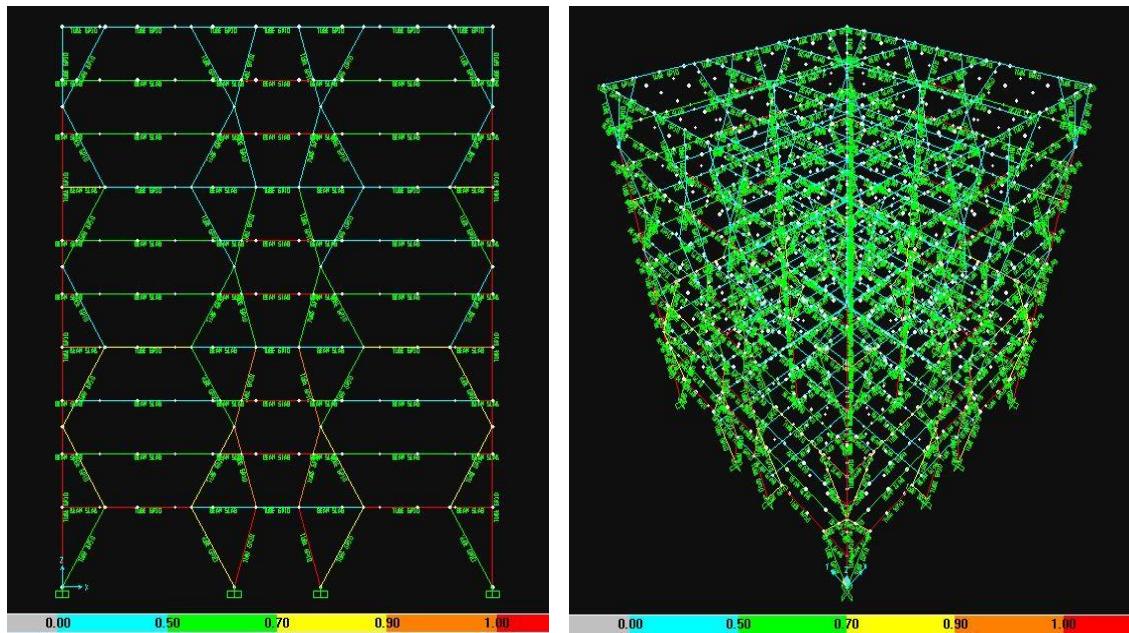
Lampiran 10.

Gaya momen akibat beban lateral (1,2DL+1,0LL+0,3EQx+1,0EQy)

Struktur Rangka Struktur Hexagrid

HONEYSS (*Honeycomb Structural System*) / Struktur Hexagrid Termodifikasi

(Sumber: Zuhri, 2016)

Lampiran 11.

Kinerja Struktur Bangunan

Kinerja Struktur Rangka

Kinerja Struktur Hexagrid

Kinerja Struktur HONEYSS (*Honeycomb Structural* System)

/ Struktur Hexagrid Termodifikasi

(Sumber: Zuhri, 2016)

Lampiran 12.

Tabel Aspek Kekakuan (Kinerja Batas Layan Bangunan)

Lantai	Sistem Hexagrid Termodifikasi (mm)	Sistem Hexagrid (mm)	Sistem Konvensional (mm)	h_{sx} (mm)	δijin = $0{,}01*h_{sx}$ (mm)	Ket.
1	2.146	2.6315	7.32	6000	60	AMAN
2	3.9038	4.6773	9.84	4000	40	AMAN
3	4.9377	6.0318	11.84	4000	40	AMAN
4	6.1857	7.4671	13	4000	40	AMAN
5	7.5906	9.0501	14.93	4000	40	AMAN
6	8.394	10.0447	16.36	4000	40	AMAN
7	9.2577	10.9971	17.55	4000	40	AMAN
8	10.2217	12.0578	18.5	4000	40	AMAN
9	10.6964	12.6084	19.17	4000	40	AMAN
10	10.9645	12.859	19.55	4000	40	AMAN

(Sumber: Zuhri, 2016)

Lampiran 13.

Detail Perbandingan Berat Struktur

TABLE: Material List 2 - By Section Property (Struktur Rangka)				
Section	**ObjectType**	**NumPieces**	**TotalLength**	**TotalWeight**
Text	Text	Unitless	m	Tonf
SUB BEAM A	Frame	40	420	48.5384
TUBE GRID	Frame	400	2240	353.3955
SUB BEAM B COLOUMN	Frame	160	672	77.6615
BEAM SLAB	Frame	360	2380	275.0511
SLAB A	Area			5350.8
TOTAL				**6105.4465**

TABLE: Material List 2 - By Section Property (Struktur Hexagrid)				
Section	**ObjectType**	**NumPieces**	**TotalLength**	**TotalWeight**
Text	Text	Unitless	m	Tonf
SUB BEAM A	Frame	40	420	48.5384
TUBE GRID	Frame	248	1643.14687	259.2325
SUB BEAM B COLOUMN	Frame	40	168	19.4154
BEAM SLAB	Frame	296	1979	228.7085
SLAB A	Area			5350.8
TOTAL				**5906.6948**

TABLE: Material List 2 - By Section Property (*Honeycomb Structural System*)				
Section	**ObjectType**	**NumPieces**	**TotalLength**	**TotalWeight**
Text	Text	Unitless	m	Tonf
SUB BEAM A	Frame	40	420	48.5384
TUBE GRID	Frame	206	1344.88394	212.1768
SUB BEAM B COLOUMN	Frame	40	168	19.4154
BEAM SLAB	Frame	161	1875.86	216.7888
SLAB A	Area			5295.8751
TOTAL				**5792.7945**

(Sumber: Zuhri, 2016)

Lampiran 14.

Detail Perbandingan Biaya Struktur

TABLE: Material List 2 - By Section Property (Struktur Rangka)						
Section	**ObjectType**	**NumPieces**	**TotalLength**	**TotalWeight**	**Harga Satuan**	**Total**
Text	Text	Unitless	m	Kgf	Rp	Rp
SUB BEAM A	Frame	40	420	48538.43	Rp 8,400	Rp 407,722,812
TUBE GRID	Frame	400	2240	353395.52	Rp 7,500	Rp 2,650,466,400
SUB BEAM B COLOUMN	Frame	160	672	77661.49	Rp 8,000	Rp 621,291,920
BEAM SLAB	Frame	360	2380	275051.13	Rp 8,400	Rp 2,310,429,492
SLAB A (20 cm)	Area			5350800	Rp 178,000	Rp 396,851,000
Total						Rp 6,386,761,624
Biaya Sambungan Joint dll (10%)						Rp 638,676,162.4
Total Biaya						Rp 7,025,437,786

TABLE: Material List 2 - By Section Property (Struktur Hexagrid)						
Section	**ObjectType**	**NumPieces**	**TotalLength**	**TotalWeight**	**Harga Satuan**	**Total**
Text	Text	Unitless	m	Kgf	Rp	Rp
SUB BEAM A	Frame	40	420	48538.43	Rp 8,400	Rp 407,722,812
TUBE GRID	Frame	248	1643.14687	259232.47	Rp 7,500	Rp 1,944,243,525
SUB BEAM B COLOUMN	Frame	40	168	19415.37	Rp 8,000	Rp 155,322,960
BEAM SLAB	Frame	296	1979	228708.48	Rp 8,400	Rp 1,921,151,232
SLAB A (20 cm)	Area			5350800	Rp 178,000	Rp 396,851,000
Total						Rp 4,825,291,529
Biaya Sambungan Joint dll (10%)						Rp 482,529,152.9
Total Biaya						Rp 5,307,820,682

TABLE: Material List 2 - By Section Property (*Honeycomb Structural System*)						
Section	**ObjectType**	**NumPieces**	**TotalLength**	**TotalWeight**	**Harga Satuan**	**Total**
Text	Text	Unitless	m	Kgf	Rp	Rp
SUB BEAM A	Frame	40	420	48538.43	Rp 8,400	Rp 407,722,812
TUBE GRID	Frame	206	1344.88394	212176.77	Rp 7,500	Rp 1,591,325,775
SUB BEAM B COLOUMN	Frame	40	168	19415.37	Rp 8,000	Rp 155,322,960
BEAM SLAB	Frame	161	1875.86	216788.83	Rp 8,400	Rp 1,821,026,172
SLAB A (20 cm)	Area			5295875.14	Rp 178,000	Rp 392,777,406
Total						Rp 4,368,175,125
Biaya Sambungan Joint dll (10%)						Rp 436,817,512.5
Total Biaya						Rp 4,804,992,638

(Sumber: Zuhri, 2016)

Lampiran 15.

Spektrum Gempa Rencana

Spektrum Gempa Rencana Jakarta (Tanah Keras C)

(puskim.pu.go.id, 2016)

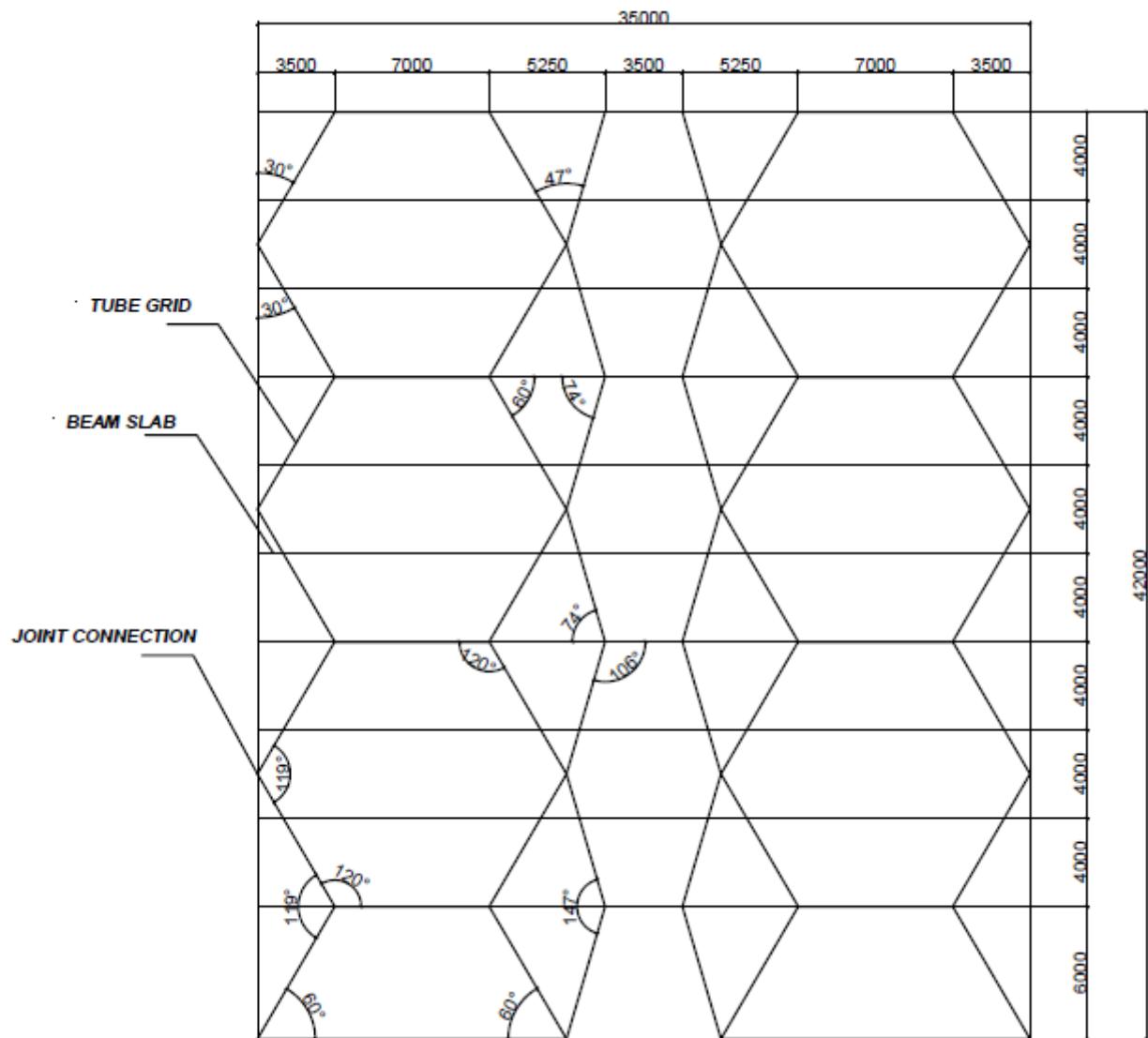
Detail Spektrum Gempa Rencana Jakarta

(puskim.pu.go.id, 2016)

Detail Spektrum Gempa Rencana Jakarta (Tanah Keras C)

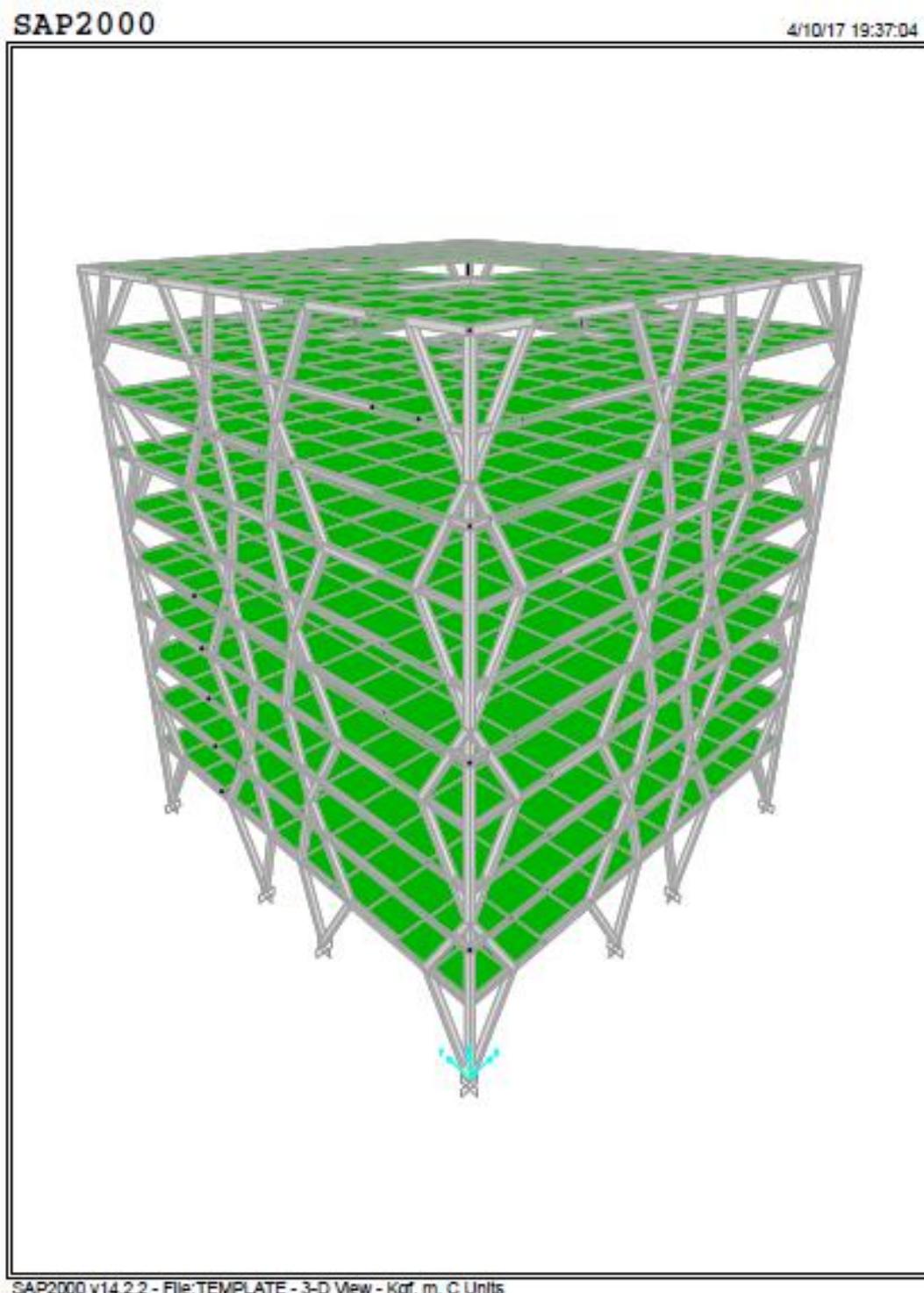
(puskim.pu.go.id, 2016)

Lampiran 16.

Detail Dimensi (2D) HONEYSS (*Honeycomb Structural* System) / Hexagrid Termodifikasi

***Satuan dalam milimeter**

(Sumber: Zuhri, 2017)

Lampiran 17.

HONEYSS (*Honeycomb Structural* System) / Hexagrid Termodifikasi

(Sumber: Zuhri, 2017)

Lampiran 18.

Prototype HONEYSS (*Honeycomb Structural* System) / Hexagrid Termodifikasi

(Sumber: Zuhri, 2017)